

PCT

世界知的所有権機関  
国際事務局

特許協力条約に基づいて公開された国際出願



(51) 国際特許分類6

H01L 21/027, G03F 9/00, 7/20

A1

(11) 国際公開番号

WO99/45581

(43) 国際公開日

1999年9月10日(10.09.99)

(21) 国際出願番号

PCT/JP99/00988

(22) 国際出願日

1999年3月2日(02.03.99)

(30) 優先権データ

特願平10/66273

1998年3月2日(02.03.98)

JP

(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)

株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP]

〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)

(72) 発明者 ; および

(75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ)

太田和哉(OTA, Kazuya)[JP/JP]

〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)

(74) 代理人

弁理士 立石篤司, 外(TATEISHI, Atsuji et al.)

〒194-0013 東京都町田市原町田5丁目4番20号

パセオビル5階 Tokyo, (JP)

(81) 指定国 AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CU, CZ, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, SL, TR, TT, UA, US, UZ, VN, YU, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)

添付公開書類

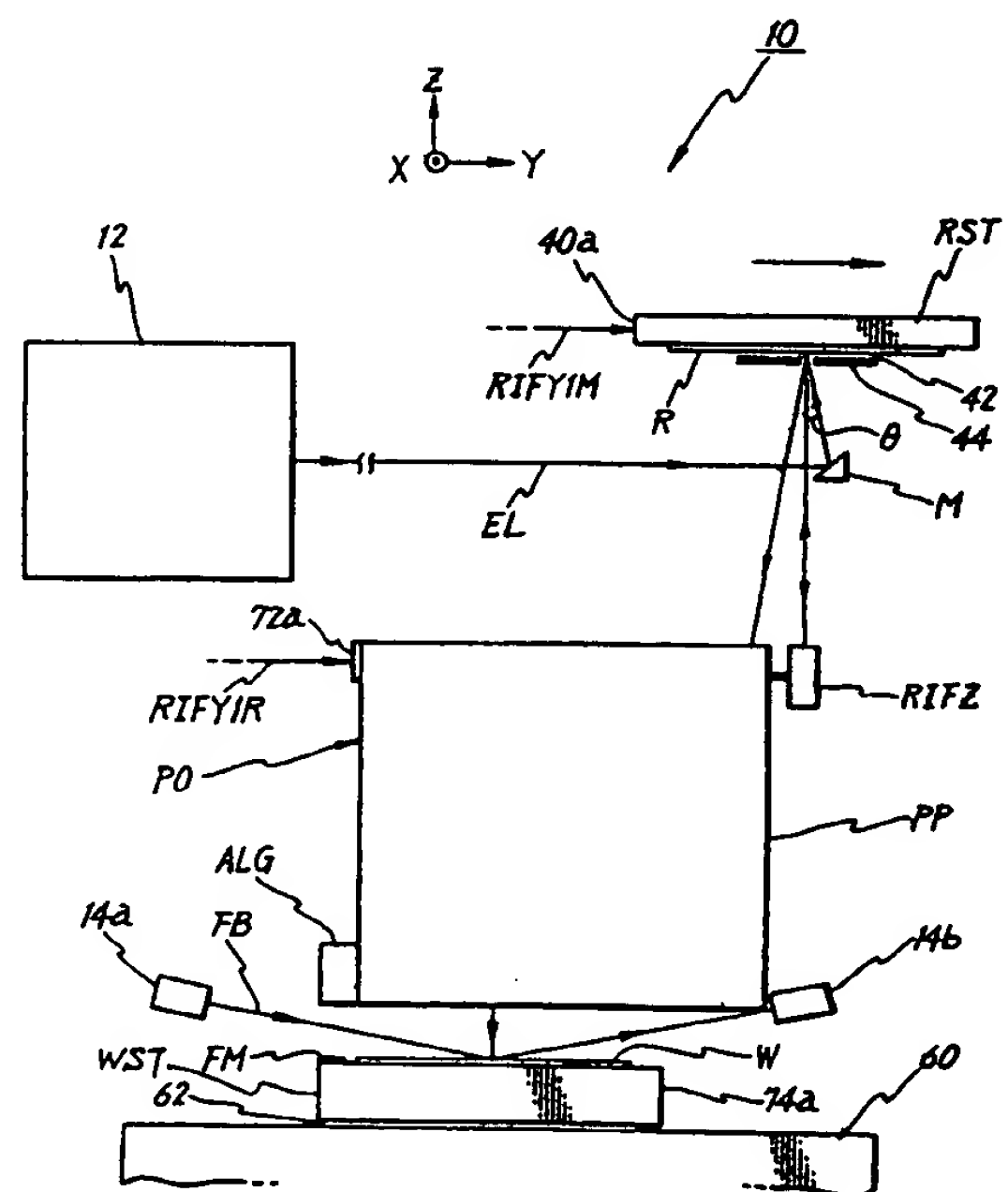
国際調査報告書

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR EXPOSURE, METHOD OF MANUFACTURE OF EXPOSURE TOOL, DEVICE, AND METHOD OF MANUFACTURE OF DEVICE

(54) 発明の名称 露光装置及び露光方法、露光装置の製造方法、並びにデバイス及びその製造方法

### (57) Abstract

When a mask (R) is irradiated obliquely with light (EL) from a lighting system, the light (EL) reflected from the mask (R) is projected onto a wafer (W) through a projection optic system (PO), and the pattern of the mask (R) is transferred to the wafer. If the magnification of the projection optic system (PO) changes because of a vertical movement of the mask (R), a control unit detects the projection position of the mask pattern image on a stage (WST) by a spatial image detector (FM) and also detects a mark on the spatial image detector (FM) by a mark detector (ALG) so as to determine the baseline of the mark detector. Thus, the positional deviation of the projection position of the mask pattern image on the wafer due to the change in magnification is corrected to sufficiently restrict or prevent alignment inaccuracy involved in the change in magnification.



## (57)要約

照明系によりマスク（R）に対し照明光（EL）が斜めから照射されると、マスク（R）から出射された照明光（EL）が投影光学系（PO）によって基板（W）上に投射され、マスク（R）のパターンが基板上に転写される。この転写に際して、投影光学系（PO）の投影倍率がマスク（R）の上下動によって変更された時に、制御装置では空間像計測器（FM）を用いてマスクのパターン像のステージWST上への投影位置を検出するとともに、空間像計測器（FM）上のマークをマーク検出系（ALG）を用いて検出することにより、マーク検出系のベースライン量を求める。これにより、投影倍率の変更に伴うマスクのパターン像の基板上への投影位置の位置ずれを補正して、投影倍率の変更に伴う重ね合わせ精度の劣化を防止あるいは十分に抑制することが可能になる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LC	セントルシア	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TZ	タンザニア
BR	ブラジル	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM	トルクメニスタン
BY	ベラルーシ	GR	ギリシャ		共和国	TR	トルコ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NO	ノールウェー	ZA	南アフリカ共和国
CJ	キューバ	JP	日本	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CZ	チェッコ	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DK	デンマーク	KR	韓国	RU	ロシア		

## 明 細 書

露光装置及び露光方法、露光装置の製造方法、並びにデバイス及びその製造方法

## 技術分野

本発明は、露光装置及び露光方法、露光装置の製造方法、並びにデバイス及びその製造方法に係り、更に詳しくは、例えば半導体素子や液晶表示素子等の回路デバイスをリソグラフィ工程で製造する際に用いられる露光装置及び露光方法、前記露光装置の製造方法、並びに前記露光装置及び露光方法を用いたデバイスの製造方法及びデバイスに関する。

## 背景技術

現在、半導体デバイスの製造現場では、波長 365 nm の水銀ランプの i 線を照明光とした縮小投影露光装置、所謂ステッパを使って最小線幅が 0.3 ~ 0.35  $\mu$ m 程度の回路デバイス（64 M（メガ）ビットの D-RAM 等）を量産製造している。同時に、256 M ビット、1 G（ギガ）ビット D-RAM クラスの集積度を有し、最小線幅が 0.25  $\mu$ m 以下の次世代の回路デバイスを量産製造するための露光装置の導入が始まっている。

その次世代の回路デバイス製造用の露光装置として、KrF エキシマレーザ光源からの波長 248 nm の紫外パルスレーザ光、或いは ArF エキシマレーザ光源からの波長 193 nm の紫外パルスレーザ光を照明光とし、回路パターンが描画されたマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）と感応基板としてのウエハとを縮小投影光学系の投影視野に対して相対的に 1 次元走査することで、ウエハ上の 1 つのショット領域内にレチクルの回路パターン全体を転写する走査露光動作とショット間ステッピング動作とを繰り返す、ステ

ップアンドスキャン方式の走査型露光装置の開発が行われている。

ところで、半導体デバイスの集積度は、将来的に更に高集積化し、1 Gビットから4 Gビットに移行することは間違いがなく、その場合のデバイスルールは0.1  $\mu\text{m}$ すなわち100 nm L/S程度となり、上記の波長193 nmの紫外パルスレーザ光を照明光として用いる露光装置により、これに対応するには技術的な課題が山積している。デバイスルール（実用最小線幅）を表す露光装置の解像度は、一般的に露光波長 $\lambda$ と、投影光学系の開口数N. A. を用いて次式（1）で表される。

$$(\text{解像度}) = k \cdot \lambda / \text{N. A.} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、kはケイファクタと呼ばれる1以下の正の定数で、使用されるレジストの特性などにより異なる。

上記式（1）から明らかなように解像度を高くするには、波長 $\lambda$ を小さくすることが極めて有効であるため、最近になって波長5～15 nmの軟X線領域の光（本明細書では、この光を「EUV（Extreme Ultraviolet）光」とも呼ぶ）を露光光として用いるEUV露光装置の開発が開始されるに至っており、かかるEUV露光装置が最小線幅100 nmの次世代の露光装置の有力な候補として注目されている。

EUV露光装置では、一般的に反射型レチクルを用い、この反射型レチクルに照明光を斜めから照射し、そのレチクル面からの反射光を投影光学系を介してウエハ上に投射することによって、レチクル上の照明光で照射された照明領域内のパターンがウエハ上に転写されるようになっている。また、このEUV露光装置では、レチクル上にはリング状の照明領域が設定され、レチクルとウエハとを投影光学系に対して相対走査することによりレチクル上のパターンの全面を投影光学系を介してウエハ上に逐次転写する走査露光方法が採用されている。

これは、EUV露光装置に使用される光の波長（5～15 nm）においては、

吸収なく効率的に光を透過する物質が存在しないから必然的に反射型レチクルを使用する他なく、またビームスプリッタを作成するのも困難であるため、必然的にレチクルに対する照明光は斜めから照射しなくてはならないからである。

このため、レチクル側が非テレセントリックになり、光軸に沿う方向のレチクルの変位がウエハ上ではリング状の露光領域（レチクル上の前記リング状照明領域に対応するウエハ上の領域）の長手方向には倍率変化、短手方向には位置変化として現われる。

具体的な数値を挙げて説明する。露光光として波長  $13\text{ nm}$  の EUV 光を使用して解像度  $100\text{ nm L/S}$  の投影光学系を設計するものとする。

上記式 (1) 式は、次式 (2) のように変形できる。

$$N.A. = k \cdot \lambda / (\text{解像度}) \quad \dots\dots (2)$$

今仮に  $k = 0.8$  とすれば、(2) 式より、解像度  $100\text{ nm L/S}$  を得るために必要な  $N.A.$  は、 $N.A. = 0.104 \approx 0.1$  であることが分かる。勿論、この  $N.A.$  はウエハ側における値であり、レチクル側のそれとは異なる。

ここで、投影光学系の投影倍率を、 $i$  線、 $g$  線、や KrF エキシマレーザ、或いは ArF エキシマレーザを露光光として用いる従来の遠紫外線露光装置 (DUV 露光装置) で一般的に用いられる  $4:1$  とすると、ウエハ側で  $N.A.$  が  $0.1$  ならば、レチクル側はその  $4$  分の  $1$  の  $0.025$  である。このことは、レチクルに照射される照明光は、主光線に対して角度約  $\pm 25\text{ mrad}$  の広がりを持つことを意味する。従って、入射光と反射光が互いに重ならないようにするには、入射角は最低でも  $25\text{ mrad}$  以上でなければならないことになる。

例えば、図 17 において、入射角  $\theta$  (= 出射角  $\theta$ ) を  $50\text{ mrad}$  とすれば、レチクル R のパターン面の Z 方向の変位 (以下、適宜「レチクルの Z 方向の変位」ともいう)  $\Delta Z$  に対するレチクル R に描かれた回路パターンの横ずれ  $\varepsilon$  は次式 (3) で表わされる。

$$\varepsilon = \Delta Z \cdot \tan \theta \quad \dots\dots (3)$$

この式(3)から、例えばレチクルRが図17の上下方向(Z方向)に1 $\mu$ m変位した場合、レチクルパターン面における像の横ずれは約50nmとなり、ウエハ上ではその4分の1の12.5nmの像シフトが生ずることがわかる。デバイスルールが100nmL/Sの半導体プロセスにおいて許容できるオーバーレイ誤差(重ね合せ誤差)は30nm以下とも言われており、レチクルのZ方向の変位だけで12.5nmものオーバーレイ誤差が生ずることは非常に厳しいと言える。すなわち、オーバーレイ誤差は、その他の要因、レチクルとウエハの位置合わせ精度(アライメント精度)やいわゆるステッピング精度を含むウエハステージの位置決め精度や投影光学系のディストーション等によってそれぞれ10nm程度生じ得るからである。

ところで、先にも述べたように、EUV露光装置に使用される光の波長(5~15nm)においては、吸収なく効率的に光を透過する物質が存在しないから、必然的に投影光学系は数枚のミラー(反射光学素子)のみによって構成されるオール反射光学系を用いる他ない。このため、投影倍率の制御が困難になるという厄介な問題が生じる。

すなわち、従来のKrFエキシマレーザ等を光源とする遠紫外線露光装置(DUV露光装置)では投影倍率の制御のために①レンズ間隔の変更や②レンズ間に設けられた密閉室の気圧を変更するという手法が一般的に採用されているが、レンズ間隔と同様にミラー間隔やミラーの曲率を変更して投影倍率を制御することは現実には容易でなく、また、EUV光は気体によっても吸収されるため、その光路は全て真空にしなければならず、投影光学系の内部の気圧変更という手法を採用できないからである。

EUV露光装置における投影倍率の制御方法として有力な選択肢の1つは、前述した光軸に沿う方向のレチクルの変位がウエハ上ではリング上の露光領域の長手方向には倍率変化として現れる現象を利用すること、すなわち、レチク



ルを投影光学系の光軸方向に意識的に変位させて投影倍率を制御する手法である。

例えば、前述した図17の例では、レチクル側の光束の傾きが $50\text{ mrad}$ であるから、リングフィールド（リング状照明領域）の半径が例えばレチクル側で $200\text{ mm}$ であるとする、レチクルRが投影光学系から $1\text{ }\mu\text{m}$ 遠ざかった場合、リングフィールドの半径は $(200\text{ mm} + 50\text{ nm})$ になる。すなわち、ウエハ上に投影されたレチクル像（パターン像）は、 $(50 \times 10^{-9}) \div (200 \times 10^{-3}) = 0.25 \times 10^{-6} = 0.25\text{ ppm}$ 拡大する。レチクルRが投影光学系に近づけば逆に縮小する。

しかるに、ウエハは何層ものプロセスを経ることによって、元の大きさに比べて $10\text{ ppm}$ 以上も拡大、又は縮小することが知られている。上の例では、 $10\text{ ppm}$ の倍率制御を行なうためには、レチクルRをZ方向に $10 \div 0.25 \times 1 = 40\text{ }\mu\text{m}$ 上下させなければならない。しかし、問題なのは、 $40\text{ }\mu\text{m}$ のレチクルの上下動によって投影倍率を $10\text{ ppm}$ 制御すると、レチクルの変位はウエハ上でリング状の露光領域に投影されるレチクル像が長手方向（非走査方向）に $10\text{ ppm}$ 伸縮するのみでなく、短手方向（走査方向）に $40 \times 12.5 = 500\text{ nm}$ の位置変化、すなわち横ずれ（像シフト）として現れることである。線幅 $100\text{ nm}$ のリソグラフィにおいては、トータルオーバーレイとして線幅の約 $1/3$ 、 $30\text{ nm}$ が求められるから、倍率制御によって像が $500\text{ nm}$ もずれてしまうことは、決して許されない。

このような事情により、EUV露光装置等のレチクル側が非テレセントリックな光学系を採用する露光装置にあつては、投影倍率の変更に伴うオーバーレイ誤差を確実に低減することができる新技術の開発が今や急務となっている。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、投影光学系の結像特性（倍率等）を含む光学特性の調整（又は変更）に起因する重ね合せ精度の劣化を防止あるいは十分に抑制することができる露光装置を提供する

ことにある。

また、本発明の第2の目的は、投影光学系の結像特性（倍率等）を含む光学特性の調整（又は変更）に起因する重ね合せ精度の劣化を防止あるいは十分に抑制することができる露光方法を提供することにある。

## 発明の開示

本発明は、第1の観点からすると、マスク（R）のパターンを基板（W）上に転写する露光装置であって、前記マスクに露光用照明光（EL）を照射する照明系（12、M、44）と；前記マスクから出射された前記露光用照明光を前記基板上に投射する投影光学系（PO）と；前記投影光学系の投影倍率を変更する倍率変更装置（RIFZ、34、80）と；前記基板を保持する基板ステージ（WST）と；前記基板ステージ上に存在するマークを検出するマーク検出系（ALG）と；前記マスクパターンの前記基板上への転写に際して、前記倍率変更装置により倍率が変更された時に、その倍率変更後に対応する前記マーク検出系のベースライン量を用いて前記マスクパターンの投影位置ずれを補正する補正装置とを備える第1の露光装置である。

ここで、「基板ステージ上に存在するマーク」とは、基板ステージ自身の上に形成された基準マーク等のマークのみならず、基板ステージ上に載置された物体、例えば基板上に形成されたマークをも含む。本明細書において、「基板ステージ上に存在するマーク」という用語を用いる。

また、マーク検出系の「ベースライン量」とは、通常と同様の意義を有し、具体的には、マーク検出系の検出中心とマスクのパターンの基板ステージ上への投影位置との相対位置関係に関する情報であり、例えば基板ステージ（基板）の位置制御に用いられる。本明細書においては、このような意味で「ベースライン量」という用語を用いる。

本発明に係る第1の露光装置によれば、照明系によりマスクに対し露光用照



明光が照射されると、マスクから出射された露光用照明光が投影光学系によって基板上に投射され、露光用照明光で照明されたマスク上の領域のパターンが基板上に転写される。このマスクパターンの転写に際して、投影光学系の投影倍率が倍率変更装置によって変更された時に、補正装置ではその倍率変更後に対応するマーク検出系のベースライン量を用いてマスクパターンの投影位置ずれを補正する。従って、投影倍率の変更に伴う重ね合わせ精度の劣化を防止あるいは十分に抑制することが可能になる。

本発明に係る第1の露光装置では、前記基板ステージ（W S T）上には特定の基準マークを含む少なくとも1つの基準マークが形成され、前記特定の基準マークと前記マスクのパターン像の前記基板ステージ上への投影位置との相対位置関係を検出する位置検出系（F M）を更に備え、前記補正装置は、前記位置検出系を用いて前記相対位置関係を検出した結果と、前記マーク検出系を用いて前記基板ステージ上の前記特定の基準マーク及び該基準マークとの関係が既知の異なる基準マークの一方を検出した結果とに基づいて、前記倍率変更後に対応する前記ベースライン量を求める制御装置（80）を有することとすることができる。かかる場合には、マスクパターンの転写に際して、投影光学系の投影倍率が倍率変更装置によって変更された時に、補正装置を構成する制御装置では、位置検出系を用いて基板ステージ上の特定の基準マークとマスクのパターン像の基板ステージ上への投影位置との相対位置関係を検出した結果と、基板ステージ上の特定の基準マークあるいはこれと異なる基準マーク（特定の基準マークとの位置関係は既知である）をマーク検出系を用いて検出した結果とに基づいて、倍率変更後に対応するマーク検出系のベースライン量、すなわちマスクのパターン像の基板ステージ上への投影位置とマーク検出系の検出中心との位置関係を求める。すなわち、補正装置では、倍率変更後には、実際にベースライン量を計測して、その計測結果を用いて投影倍率の変更に伴うマスクのパターン像の基板上への投影位置の位置ずれを補正する。従って、投影倍

率の変更に伴う重ね合わせ精度の劣化を防止あるいは十分に抑制することが可能になる。

上述のように投影倍率の変更に、実際にベースライン量を計測する場合には、前記マーク検出系（ALG）は、焦点検出系を有し、前記マーク検出系による前記基板ステージ上に存在するマークの検出の際に、前記焦点検出系の検出結果に基づいて前記マーク検出系の焦点位置に前記マークが位置するように前記基板ステージの前記光軸方向の位置を調整する調整装置を更に備えることが望ましい。かかる場合には、ベースライン量の計測に際して、基板ステージ上の特定の基準マークあるいはこれと異なる基準マーク（特定の基準マークとの位置関係は既知である）をマーク検出系を用いて検出する際に、焦点検出系の検出結果に基づいてマーク検出系の焦点位置に前記検出対象の基準マークが位置するように調整装置により基板ステージの位置を調整して前記基準マークを検出することができる。従って、露光に先立つ基板のアライメント計測の際に、上記と同様にしてマーク検出系の焦点位置に基板を位置させて基板上的のアライメントマークをマーク検出系により検出することにより、結果的に高精度な基板の位置制御が可能になる。

本発明に係る第1の露光装置では、前記基板ステージ（WST）上には特定の基準マークを含む少なくとも1つの基準マークが形成され、前記特定の基準マークと前記マスクのパターン像の前記基板ステージ上への投影位置との相対位置関係を検出する位置検出系（FM）を更に備え、前記補正装置は、前記位置検出系の検出結果と、前記マーク検出系（ALG）を用いて前記基板ステージ上の前記特定の基準マーク及び該基準マークとの関係が既知の異なる基準マークの一方を検出した結果とに基づいて算出された前記マーク検出系のベースライン量を予め記憶する記憶装置（81）と、前記変更された倍率に応じて前記記憶装置に記憶された前記ベースライン量を計算によって補正する計算装置（80）とを有することとすることができる。かかる場合には、記憶装置には、

位置検出系の検出結果とマーク検出系を用いて基板ステージ上の特定の基準マーク及び該基準マークとの関係が既知の異なる基準マークの一方を検出した結果とに基づいて算出されたベースライン量が予め記憶されている。そして、マスクパターンの転写に際して、投影光学系の投影倍率が倍率変更装置によって変更された時に、補正装置を構成する計算装置では、倍率変更装置により変更された倍率に応じて記憶装置内に記憶されているベースライン量を計算によって補正する。このベースライン量の補正は、例えば倍率変更装置の制御量と基板上でのマスクパターン像の位置ずれ量との関係に基づいて行われる。このように、本発明によれば、実際のベースライン計測を予め行い、その結果を記憶装置に記憶しておくだけで、倍率変更時には、計算のみにて投影倍率の変更に伴うマスクのパターン像の基板上への投影位置の位置ずれを補正することが可能になる。従って、投影倍率の変更に伴う重ね合わせ精度の劣化を防止しあるいは十分に抑制することができ、しかもスループットの向上が可能になる。

本発明に係る第1の露光装置では、倍率変更装置により投影倍率に変更された際に、実際にマーク検出系のベースライン量を計測する場合、あるいは計算により予め求めたベースライン量を計算にて補正することにより投影倍率変更後に対応するベースライン量を求める場合のいずれの場合でも、前記露光用照明光（EL）が軟X線領域の光である場合には、前記位置検出系は、前記基板ステージ（WST）上に設けられ、蛍光発生物質（63）と、この表面に前記露光用照明光の反射層（64）及び吸収層の一方から成る薄膜により形成された前記特定の基準マークを兼ねる開口（SLT1、SLT2）と、前記開口を介して前記露光用照明光が前記蛍光発生物質に到達した際に前記蛍光発生物質が発する光を光電変換する光電変換素子（PM）とを有する空間像計測器（FM）であることが望ましい。かかる場合には、前述した如く、通常軟X線領域の光を透過する物質は存在しないにもかかわらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にも、その位置検出系、すなわち空間像計測器によりその露光

用照明光を用いて空間像計測が可能となる。従って、この位置検出系を用いて基板ステージ上の特定の基準マーク（上記開口）とマスクのパターン像の基板ステージ上への投影位置との相対位置関係を容易に検出することができる。

本発明に係る第1の露光装置では、投影倍率の変更方法は種々考えられるが、例えば、前記倍率変更装置は、前記マスクを前記投影光学系の光軸方向に駆動する装置により構成することができる。物体面側（マスク側）が非テレセントリックな投影光学系の場合には勿論、たとえ両側テレセントリックの投影光学系であっても完全に（投影視野内の各像高で）テレセントリックの光学系の製作は現実的には困難であるため、いずれにしても、マスクを前記投影光学系の光軸方向に駆動すれば、投影光学系が屈折光学系、反射屈折光学系、あるいは反射光学系のいずれであっても投影倍率（ないしディストーション）が変化するので、これを利用することにより投影倍率を容易に変更できる。

本発明に係る第1の露光装置では、前記投影光学系が、反射光学素子を含む光学系である場合には、前記倍率変更装置は、前記投影光学系の光学特性を変更する光学特性変更装置とすることができる。この場合において、前記光学特性変更装置は、例えば複数の反射光学素子の間隔を変更する装置であっても良いが、例えば前記反射光学素子の曲率を変更するものであっても良い。

本発明に係る第1の露光装置では、前記投影光学系（P O）は、反射光学素子を含む光学系であり、前記マスクを保持するマスクステージ（R S T）と、該マスクステージと前記基板ステージ（W S T）とを前記投影光学系の光軸方向に直交する第1方向に同期移動する駆動装置（8 0、3 4、6 2）とを更に備える場合に、前記倍率変更装置（R I F Z、3 4、8 0）は、前記マスクステージを介して前記マスクを前記投影光学系の光軸方向に駆動して前記投影光学系の光軸方向及び前記第1方向に直交する第2方向の倍率を変更する装置とすることができる。

かかる場合には、照明系によりマスクに対し露光用照明光が照射されると、

マスクから出射された露光用照明光が投影光学系によって基板上に投射され、露光用照明光で照明されたマスク上の領域のパターンが基板上に転写される。このマスクパターン転写に際して、駆動装置ではマスクステージと基板ステージとを投影光学系の光軸方向に直交する第1方向に同期移動する。これにより、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に転写される。また、倍率変更装置が、マスクステージを投影光学系の光軸方向に駆動して投影光学系の光軸方向及び第1方向に直交する第2方向の倍率を変更する装置であることから、第2方向については容易に投影倍率の制御が可能であるとともに、第1方向(走査方向)についての倍率調整は同期速度比の制御により容易に実現できる。また、補正装置によって投影倍率の変更に伴うマスクのパターン像の基板上への投影位置の位置ずれは補正できる。従って、投影倍率の変更に伴う重ね合わせ精度の劣化を防止しあるいは十分に抑制することができ、しかも倍率制御が容易である。この場合において、前記露光用照明光は特に限定されないが、例えば真空紫外域の光であっても良い。あるいは、前記投影光学系は、反射光学素子のみから成る反射光学系であり、前記マスクは、反射型マスクであっても良い。

上記の如く、反射光学素子のみから成る反射光学系と、反射型マスクとの組み合わせを用いる場合には、前記露光用照明光は軟X線領域の光であっても良い。

本発明に係る第1の露光装置において、前記基板ステージ(WST)上の基板(W)の前記投影光学系の光軸方向の位置を検出する焦点位置検出系(14a、14b)と、前記倍率変更装置による前記マスクの前記光軸方向の駆動量に対応したオフセットを前記焦点検出系に与え、該焦点位置検出系の検出結果に基づいて前記基板ステージの光軸方向の位置をフィードバック制御するステージ制御装置とを更に備えることができる。かかる場合には、ステージ制御装置により、マスクパターンの転写時の基板の光軸方向の位置を投影光学系の焦



点位置に設定することができることに加え、特に前記基板ステージ（W S T）上には特定の基準マークを含む少なくとも1つの基準マークが形成され、前記特定の基準マークと前記マスクのパターン像の前記基板ステージ上への投影位置との相対位置関係を検出する位置検出系を更に備える場合には、ベースライン量の検出のため、位置検出器により特定の基準マークとマスクのパターン像の基板ステージ上への投影位置との相対位置関係を検出する際に、特定基準マークを投影光学系の焦点位置に設定することができるので、焦点ずれの無い状態での高精度な検出が可能となり、結果的にベースライン量をより正確に求めることができる。

本発明に係る第1の露光装置では、倍率変更装置による倍率変更は、例えば、マスクの熱変形等の補正を目的として、あるいは与えられた目標倍率に基づいて行っても良いが、前記マスク（R）のパターンの前記基板（W）に対する転写に先立って、前記マーク検出系（A L G）を用いて前記基板上の複数の位置合わせマークを検出する検出装置（80）を更に備える場合には、前記倍率変更装置（R I F Z、34、80）による倍率の変更は、前記検出装置による複数の位置合わせマークの位置検出結果に基づいて行うようにしても良い。かかる場合には、位置合わせマークの検出結果に基づいて基板の現実の倍率変化が求められ、その倍率変化に応じて倍率変更装置により投影倍率に変更されるので、重ね合わせ精度が向上する。

本発明に係る第1の露光装置において、前記投影光学系は、前記マスク側が非テレセントリックであっても良い。

本発明は、第2の観点からすると、マスク（R）のパターンを基板（W）上に繰り返し転写する露光装置であって、前記マスクに露光用照明光（E L）を照射する照明系（12、M、44）と；前記マスクから出射された前記露光用照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；前記基板を保持する基板ステージ（W S T）と；前記基板ステージ上に存在するマークを検出するマーク検出



系（ALG）と；前記マーク検出系のベースライン量の更新の必要の有無を所定の判定条件に基づいて判断する判断装置と；前記判断装置の判断の結果が肯定的である場合には新たなベースライン量を求めるベースライン更新装置と；前記判断装置の判断結果が否定的である場合には、前記マスクパターンの前記基板への転写に際して予め求めた前記マーク検出系のベースライン量を用いて前記基板ステージの位置を制御し、前記判断装置の判断結果が肯定的である場合には、前記マスクパターンの前記基板への転写に際して前記新たなベースライン量を用いて前記基板ステージの位置を制御するステージ制御装置とを備える第2の露光装置である。

これによれば、マスクパターンが基板上に繰り返し転写される間に、判断装置によりマーク検出系のベースライン量の更新の必要の有無が所定の判定条件に基づいて判断され、ベースライン更新装置では、判断装置の判断の結果が肯定的である場合に新たなベースライン量を求める。そして、ステージ制御装置では、判断装置の判断結果が否定的である場合には、マスクパターンの基板への転写に際して予め求めたマーク検出系のベースライン量を用いて基板ステージの位置を制御し、判断装置の判断結果が肯定的である場合には、マスクパターンの基板への転写に際して更新装置で求められた新たなベースライン量を用いて基板ステージの位置を制御する。従って、上記の判断条件として、ベースライン量が許容値を超えて変動する可能性が高くなるか否かの推定が可能な条件を定めておけば、ベースライン量の変動が許容値内となり、マスクパターンの転写像の位置ずれが無視できるときには、露光中の基板ステージの位置制御を予め求めたベースライン量を用いて行い、ベースライン量の変動が許容値を超える可能性が高く、マスクパターンの転写像の位置ずれが無視できないときには、ベースライン量を計測（又は計算）により新たに求め、その新たに求めたベースライン量を用いて露光中の基板ステージの位置制御を行うようにすることができる。従って、マスクパターン像の基板への投影位置の位置ずれを防止

あるいは十分に抑制することができるとともに、必要な場合にだけベースライン量の再計測（又は再計算）を行うことからスループットの向上が可能である。

この場合において、上記の判断条件としては種々のものが考えられるが、例えば、前記判断装置は、マスクパターンの転写の対象である前記基板がロットの先頭であるか否かに基づいて前記マーク検出系のベースライン量の更新の必要の有無を判断することとしても良い。

本発明は、第3の観点からすると、マスク（R）と基板（W）とを同期移動させつつ前記マスクに形成されたパターンを投影光学系（PO）を介して前記基板上に転写する露光方法において、前記マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光（EL）を照射して前記露光用照明光により照明されたマスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するに際し、前記投影光学系の前記同期移動方向と直交する方向の投影倍率を所望の値に設定するとともに、この設定後に対応する前記基板上の位置合わせマークを検出するマーク検出系（ALG）のベースライン量を用いて前記基板の位置を制御することを特徴とする第1の露光方法である。

これによれば、マスクのパターン面に対し所定の入射角（入射角が0の場合を含む）で露光用照明光を照射して露光用照明光により照明されたマスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写するに際し、投影光学系の同期移動方向と直交する方向の投影倍率が所望の値に設定されると、この設定後に対応する基板上の位置合わせマークを検出するマーク検出系のベースライン量を用いて基板の位置が制御される。この場合、同期移動方向の投影倍率は、マスクと基板との同期速度比を調整することにより制御できる。従って、投影倍率の変更、及びこれに伴う重ね合わせ精度の劣化防止が可能になる。

この場合において、前記投影倍率の設定後に対応する前記ベースライン量は、前記投影倍率の設定後に検出されるものであっても良く、あるいは前記投影倍率の設定後に対応する前記ベースライン量は、その設定された投影倍率に応じ

て、予め求められたベースライン量を計算により補正したものであっても良い。後者の場合には、投影倍率の変更、及びこれに伴う重ね合わせ精度の劣化の防止が、露光の際にベースライン計測を行うことなく、可能になる。

本発明に係る第1の露光方法では、前記マスクは反射型マスクであり、前記投影光学系は反射光学系であっても良い。

本発明は、第4の観点からすると、マスク(R)と基板(W)とを同期移動して、前記マスクのパターンを投影光学系(PO)を介して前記基板上に転写する露光方法において、前記転写に先立って前記投影光学系の光学特性を調整し、前記光学特性の調整に起因して生じる、前記投影光学系のイメージフィールド内での、パターン像の投影領域のシフトを補償するように、前記同期移動中における前記投影領域と前記基板との位置関係を調整することを特徴とする第2の露光方法である。

これによれば、マスクと基板とを同期移動して、マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写するに先立って、投影光学系の光学特性が調整される。そして、マスクパターンの基板への転写時には、前記の光学特性の調整に起因して生じる、投影光学系のイメージフィールド内での、パターン像の投影領域のシフトを補償するように、マスクと基板との同期移動中におけるパターン像の投影領域と基板との位置関係が調整される。従って、光学特性の調整に伴う重ね合わせ精度の劣化を防止あるいは十分に抑制することができる。

この場合において、前記基板(W)上のマークをマーク検出系(ALG)で検出して得られる位置情報を用いて前記基板(W)の露光位置を決定し、前記投影領域と前記基板との相対位置を調整するために、前記光学特性の調整後における前記マーク検出系(ALG)のベースライン量と前記決定された露光位置情報とに従って、前記マスク(R)に対する前記基板の同期移動を制御しても良い。

本発明に係る第2の露光方法において、前記同期移動では、前記光学特性の

調整後に計測される前記マーク検出系（ALG）のベースライン量及び前記調整された光学特性から計算される前記マーク検出系のベースライン量的一方を利用するようにしても良い。すなわち、光学特性の調整の前後で光学特性が大きく変化した場合には、光学特性の調整によりベースライン量が大きく変化する可能性が高いので実際にマーク検出系のベースライン量を計測すれば良く、この反対に光学特性の調整の前後で光学特性が殆ど変化しない場合には、調整された光学特性から計算されるマーク検出系のベースライン量を利用すれば良い。後者の場合には、光学特性の調整量とベースライン量との相関関係に基づいて算出されるベースライン量の変化分だけ調整前のベースライン量を補正した計算値を用いても重ね合わせ精度は殆ど劣化しないからである。

本発明に係る第2の露光方法では、前記基板（W）上の複数のマークを前記マーク検出系（ALG）で検出して得られる複数の位置情報と、前記投影光学系（PO）を介して前記マスク（R）上の複数のマーク（RM）を検出して得られる複数の位置情報との少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系（PO）の光軸に沿った方向に前記マスクを移動し、前記基板の同期移動方向と直交する方向に関する前記パターン像の投影倍率を調整しても良い。かかる場合、基板上の複数のマークをマーク検出系で検出して得られる複数の位置情報に基づき、基板の伸縮量を求めることができ、また、投影光学系を介してマスク上の複数のマークを検出して得られる複数の位置情報に基づき基板上に投影されるマスクパターン像の倍率（または倍率変化）を求めることができる。従って、基板上の複数のマークをマーク検出系で検出して得られる複数の位置情報と、投影光学系を介してマスク上の複数のマークを検出して得られる複数の位置情報とのいずれに基づいて投影光学系の光軸に沿った方向にマスクを移動しても、基板の同期移動方向と直交する方向に関するパターン像の投影倍率を良好に調整できる。

本発明に係る第2の露光方法では、前記マスク（R）は、主光線がそのパタ

ーン面に対して傾いた露光用照明光 (EL) で照射される反射型マスクであり、前記露光用照明光 (EL) は、波長 5 ~ 15 nm にスペクトルを有する極端紫外光であり、前記投影光学系 (PO) は、前記マスク側が非テレセントリックで、かつ複数の反射光学素子のみから構成されていても良い。

本発明は、第 5 の観点からすると、マスク (R) のパターンを投影光学系 (PO) を介して基板 (W) 上に繰り返し転写する露光方法であって、前記基板上のマークを検出するマーク検出系 (ALG) のベースライン量の変動要因となる物理量の変化を監視する第 1 工程と；前記物理量が所定の許容値を超えたか否かに基づいて前記マーク検出系のベースライン量の更新の必要の有無を判断する第 2 工程と；前記判断結果が肯定的である場合には新たなベースライン量を求め、その求めたベースライン量を用いて前記基板の位置を制御し、前記判断結果が否定的である場合には、予め求めた前記マーク検出系のベースライン量を用いて前記基板の位置を制御して、露光を行う第 3 工程とを含む第 3 の露光方法である。

これによれば、第 1 工程で基板上のマークを検出するマーク検出系のベースライン量の変動要因となる物理量の変化が監視され、第 2 工程で前記物理量が所定の許容値を超えたか否かに基づいてマーク検出系のベースライン量の更新の必要の有無が判断される。そして、第 3 工程では、前記判断結果が肯定的である場合には新たなベースライン量が求められ、その求めたベースライン量を用いて基板の位置を制御し、前記判断結果が否定的である場合には、予め求めたマーク検出系のベースライン量を用いて基板の位置を制御して、露光が行われる。従って、マーク検出系のベースライン量の変動要因となる物理量が所定の許容値を超え、ベースライン量の変動が許容値を超える可能性が高く、マスクパターンの転写像の位置ずれが無視できないときには、ベースライン量を計測 (又は計算) により新たに求め、その新たに求めたベースライン量を用いて露光中の基板ステージの位置制御を行い、前記物理量が所定の許容値内となり、



ベースライン量の変動が許容値内となり、マスクパターンの転写像の位置ずれが無視できるときには、露光中の基板ステージの位置制御を予め求めたベースライン量を用いて行うようにすることができる。従って、マスクパターン像の基板への投影位置の位置ずれを防止あるいは十分に抑制することができるとともに、必要な場合にだけベースライン量の再計測（又は再計算）を行うことからスループットの向上が可能である。

本発明に係る第3の露光方法において、前記第1工程において監視される物理量は、種々の物理量が考えられるが、例えばその物理量は、前記マスクの熱膨張変化量であっても良い。この場合、そのマスクの熱膨張変化量は、前記マスクの温度分布の計測結果に基づいて推定されるものであっても良い。

本発明に係る第3の露光方法において、前記第1工程において監視される物理量は、前記投影光学系の結像特性であっても良い。

本発明に係る第3の露光方法において、前記投影光学系はミラーを含む光学系である場合には、前記第1工程において監視される物理量は、前記ミラーの変形量であっても良い。

本発明は、第6の観点からすると、マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、前記マスクに露光用照明光を照射する照明系を提供する工程と；前記マスクから出射された前記露光用照明光を前記基板上に投射する投影光学系を提供する工程と；前記投影光学系の投影倍率を変更する倍率変更装置を提供する工程と；前記基板を保持する基板ステージを提供する工程と；前記基板ステージ上に存在するマークを検出するマーク検出系を提供する工程と；前記マスクパターンの前記基板上への転写に際して、前記倍率変更装置により倍率が変更された時に、その倍率変更後に対応する前記マーク検出系のベースライン量を用いて前記マスクパターンの投影位置ずれを補正する補正装置を提供する工程とを含む露光装置の製造方法である。

これによれば、照明系、投影光学系、倍率変更装置、基板ステージ、補正装



置、並びにその他の様々な部品を機械的、光学的、及び電氣的に組み合わせて調整することにより、本発明の露光装置を製造することができる。この場合、ステップ・アンド・リピート方式等の静止露光型の露光装置を製造することができる。

本発明に係る露光装置の製造方法では、前記マスクを保持するマスクステージを提供する工程と；前記マスクステージと前記基板ステージとを前記投影光学系の光軸方向に直交する第1方向に同期移動する駆動装置を提供する工程とを更に含むことができる。かかる場合には、マスクステージと基板ステージとの相対走査速度及び相対走査方向の角度の変更調整により像歪み特性を補正可能なステップ・アンド・スキャン方式等の走査型の露光装置を製造することができる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法を用いて露光を行うことにより、基板上に複数層のパターンを重ね合せ精度良く形成することができ、これにより、より集積度の高いマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。同様に、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を用いて露光を行うことにより、基板上に複数層のパターンを重ね合せ精度良く形成することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。従って、本発明は別の観点からすると、本発明の露光方法又は本発明のリソグラフィシステムを用いるデバイス製造方法であり、また、該製造方法によって製造されたデバイスであるとも言える。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

図2は、図1の光源装置の内部構成を示す図である。

図3は、図2の光源装置の左側面図である。

図4は、図1のレチクルステージ近傍の構成各部を詳細に示す図である。

図5は、レチクルの概略平面図である。

図6は、レチクルステージとウエハステージのX-Y平面内の位置を計測する干渉計システムの構成を説明するための図である。

図7は、図1のスリット板及びその駆動機構の一例を示す平面図である。

図8は、図1の投影光学系の内部構成を概略的に示す図である。

図9Aは、空間像計測器を示す平面図である。

図9Bは、図9Aの空間像計測器を示す側面図である。

図10は、ウエハ（ウエハステージ）及びレチクル（レチクルステージ）の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成を概略的に示すブロック図である。

図11は、レチクルパターンがウエハ上の複数ショット領域に転写される様子を示す図である。

図12は、第1の実施形態の露光装置の露光シーケンスを説明するためのフローチャートである。

図13は、変形例を説明するための図である。

図14は、第2の実施形態の露光装置の露光シーケンスを説明するための図である。

図15は、本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

図16は、図15のステップ204における処理を示すフローチャートである。

図17は、発明が解決しようとする課題を説明するための図である。

発明を実施するための最良の形態

《第1の実施形態》

以下、本発明の第1の実施形態を図1～図12に基づいて説明する。

図1には、第1の実施形態に係る露光装置10の全体構成が概略的に示されている。この露光装置10は、露光用照明光ELとして波長5～15nmの軟X線領域の光（EUV光）を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。本実施形態では、後述するように、マスクとしてのレチクルRからの反射光束をウエハW上に垂直に投射する投影光学系POが使用されているので、以下においては、この投影光学系POからウエハWへの照明光ELの投射方向を投影光学系POの光軸方向と呼ぶとともに、この光軸方向をZ軸方向、これに直交する面内で図1における紙面内の左右方向をY軸方向、紙面に直交する方向をX軸方向として説明するものとする。

この露光装置10は、マスクとしての反射型レチクルRに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系POを介して基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを投影光学系POに対して1次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することによって、レチクルRの回路パターンの全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

露光装置10は、EUV光ELをY方向に沿って水平に射出する光源装置12、この光源装置12からのEUV光ELを反射して所定の入射角 $\theta$ （ $\theta$ はここでは約50mradとする）でレチクルRのパターン面（図1における下面）に入射するように折り曲げる折り返しミラーM（照明光学系の一部）、レチクルRを保持するマスクステージとしてのレチクルステージRST、レチクルRのパターン面で反射されたEUV光ELをウエハWの被露光面に対して垂直に投射する反射光学系から成る投影光学系PO、ウエハWを保持する基板ステージとしてウエハステージWST、フォーカスセンサ（14a、14b）及びマーク検出系としてのアライメント光学系ALG等を備えている。

前記光源装置12は、図2に示されるように、レーザプラズマ光源16と照明光学系の一部（PRM、IM、30）とから構成される。光源16は、例え

ば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザ等の高出力レーザ20と、この高出力レーザ20からのレーザ光Lを所定の集光点に集光する集光レンズ22と、この集光点に配置された銅テープ等のEUV光発生物質24とを備えている。

ここで、EUV光の発生のしくみについて簡単に説明すると、高出力レーザ20からのレーザ光Lが集光レンズ22の集光点に配置されたEUV光発生物質24に照射されると、このEUV光発生物質24がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態に遷移する際にEUV光ELを放出する。

このようにして発生したEUV光ELは全方位に発散するため、これを集光する目的で、光源装置12内には放物面鏡PRMが設けられており、この放物面鏡PRMによってEUV光ELは集光されて平行光束に変換されるようになっている。この放物面鏡PRMの内表面にはEUV光を反射するためのEUV光反射層が形成されており、その裏面には冷却装置26が取り付けられている。冷却装置26としては冷却液体を用いるものが冷却効率の点からは好ましいが、これに限定されるものではない。放物面鏡PRMの素材は熱伝導の点から金属が適している。放物面鏡PRMの表面に形成されているEUV光反射層として、2種類の物質を交互に積層した多層膜を用いることにより、特定の波長の光のみを反射することが知られている。例えば、モリブデンMoと珪素Siを数十層コーティングすると波長約13.4nmのEUV光を選択的反射し、モリブデンとベリリウムでは波長約11.5nmのEUV光を反射することが知られている。反射されない波長の光は多層膜等により吸収されて熱に変わるため、放物面鏡PRMの温度が上昇する。この放物面鏡PRMを冷却するために、前記冷却装置26が必要となるのである。放物面鏡PRMによって平行光に変換されたEUV光ELは、その光軸に垂直な断面形状が円形で、強度分布が一様な平行光である。

光源装置 1 2 内には、更に、上記の平行光に変換された E U V 光 E L を反射して図 1 の折り返しミラー M の方向に向けて偏向する照明ミラー 1 M と、この照明ミラー 1 M の E U V 光 E L の進行方向後方側（図 2 における紙面右側）に配置されたベリリウム等によって形成された波長選択窓 3 0 とが設けられている。照明ミラー 1 M は、図 2 に示されるように、E U V 光 E L が照射される側の面が曲面とされ、その曲面の表面には、その波長に応じて選択される二種類の物質を交互に積層（例えば、モリブデン M o と珪素 S i を数十層コーティング）した多層膜から成る反射層が形成され、この反射層で反射された E U V 光がレチクル R 上で丁度細長いスリット状になるよう設計されている。

図 2 の紙面内上下方向が後述するレチクル R のパターン面を照明する後述する所定面積を有する円弧状の照明領域（リング状照明領域の一部を取り出したような形状の照明領域）の長手方向に直交する方向に対応し、レチクル R のパターン面が丁度焦点面となっている。この場合、E U V 光 E L の発光源が有限の大きさを持つため、レチクル R のパターン面が焦点面になっているといってもその焦点面上では E U V 光 E L は 1 mm から 1 0 mm 程度の幅を有する。従って、円弧状の照明領域を照明するのに細すぎるということは無い。照明ミラー 1 M の反射面の裏面側には、前述した冷却装置 2 6 と同様の冷却装置 2 8 が設けられている。

前記波長選択窓 3 0 は、ここでは、可視光をカットする目的で設けられている。これは、多層膜から成る E U V 反射膜は、E U V 光近辺の波長に対してはかなり鋭い波長選択性を持ち、露光に用いる特定の波長のみを選択的に反射するが、可視光や紫外光なども同様に反射してしまう。これをレチクル R や投影光学系 P O に導いたりすると、余計なエネルギーのためにレチクル R や投影光学系 P O を構成するミラー（これらについては後述する）が発熱したり、最悪の場合にはウエハ W 上に不要な光が転写されて像の劣化を招くおそれもあるため、かかる事態の発生を防止しようとするものである。



図 3 には、図 2 に示される光源装置 1 2 を Y 方向一側（図 2 における左側）から見た状態が示されている。この図 3 においては、紙面の奥側に図 1 の折り返しミラー M がある。照明ミラー 1 M の反射面は図 3 には表れていないが、図 3 の紙面奥側からみた場合に長方形状をしている。すなわち、図 2 では凹曲面、この左側面図である図 3 では長方形であるから、照明ミラー 1 M の反射面は、円筒の内周面の一部と同様の形状をしていることになる。この場合、EUV 光 EL は、図 2 の紙面内では収束されるが、図 3 の紙面内では平行光のままであるから、図 3 中の左右方向の長さが後述する円弧状照明領域の長手方向の長さとなる。なお、平行と言っても前述の通り光源の大きさが有限であるため、空間的コヒーレンシーがゼロと言うわけではない。

前記レチクルステージ RST は、図 1 では図示が省略されているが、実際には図 4 に示されるように、XY 平面に沿って配置されたレチクルステージベース 3 2 上に配置され、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 3 4 によって該レチクルステージベース 3 2 上に浮上支持されている。このレチクルステージ RST は、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 3 4 によって Y 方向に所定ストロークで駆動されるとともに、X 方向及び  $\theta$  方向（Z 軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このレチクルステージ RST は、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 3 4 によって Z 方向及び XY 面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

レチクルステージ RST の周辺部の底部には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とレチクルステージベース 3 2 上に XY 2 次元方向に張り巡らされたコイル 3 4 a とによって前記磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 3 4 が構成されており、後述する主制御装置 8 0 によってコイル 3 4 a に流す電流を制御することによってレチクルステージ RST の 6 次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

レチクルステージ RST は、図 4 に拡大して示されるように、レチクル R を



レチクルステージベース 3 2 に対向して保持するレチクルホルダ R H と、レチクルホルダ R H の周辺部を保持するステージ本体 3 5 と、ステージ本体 3 5 の内部でレチクルホルダ R H の背面側（上面側）に設けられ該レチクルホルダ R H の温度をコントロールするための温度制御部 3 6 とを備えている。前記レチクルホルダ R H としては、静電チャック式のレチクルホルダが用いられている。これは、E U V 光 E L を露光用照明光として用いる関係から、本実施形態の露光装置 1 0 は、実際には、不図示の真空チャンバ内に収容されており、このため真空チャック式のレチクルホルダは使用できないからである。レチクルホルダ R H の素材は低膨張ガラスやセラミックなど従来の D U V 露光装置で使用されている物で差し支えない。

レチクルホルダ R H のレチクル吸着面には、複数の温度センサ 3 8 が所定間隔で配置されており、これらの温度センサ 3 8 によってレチクル R の温度が正確に測定され、この測定温度に基づいて温度制御部 3 6 でレチクル R の温度を所定の目標温度に保つような温度制御を行う。この温度制御部 3 6 を構成する冷却装置としては、外部からフレキシブルなチューブを介して冷却液体を引き込む形の液冷式や、ペルチェ素子のような電子素子を用いる方式、さらにはヒートパイプ等の熱交換器を用いる方式などが採用できる。

レチクルステージ R S T の Y 方向一側の側面には、鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面 4 0 a が形成されている。図 4 では図示が省略されているが、図 6 に示されるように、レチクルステージ R S T の X 方向一側の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面 4 0 b が形成されている。そして、この露光装置 1 0 では、従来の D U V 光源の露光装置と同様に、前記反射面 4 0 a、4 0 b に測定ビームを照射する干渉計システムによってレチクルステージ R S T の X Y 面内の位置が管理されている。この干渉計システムについては、後に詳述する。

レチクル R の表面（パターン面）には、E U V 光を反射する反射膜が形成さ

れている。この反射膜は、例えば２種類の物質を交互に積層させた多層膜である。ここでは、モリブデンMoと珪素Siの多層膜を用いて波長約13nmのEUV光に対して反射率約70%の反射膜を形成している。かかる反射膜の上にEUV光を吸収する物質を一面に塗布し、パタニングする。多層膜のような反射物体をパタニングすると失敗した時の修復が不可能であるのに対し、吸収層（吸収膜）を設けてパタニングする方法だとやり直しが可能になるのでパターン修復が可能になる。実在する大部分の物質がEUV光を反射しないため、吸収層に用いることができる。本実施形態では、後述するように、レチクルRのZ方向位置を計測するために、レーザ干渉計（RIFZ1～RIFZ3）が用いられるため、これらのレーザ干渉計からの測定ビーム（可視領域の光）に対して前記反射層（反射膜）と同程度の反射率が得られるような物質により吸収層が形成されている。その他、この吸収層形成材料の選択の基準としてパタニングのし易さ、反射層への密着性、酸化などによる経年変化が小さいなどが挙げられる。

図5には、レチクルRの一例が示されている。図中の中央にある長方形の領域がパターン領域PAである。斜線が施された円弧状の領域が露光用照明光であるEUV光ELが照射される円弧状照明領域IAである。ここで、円弧状の照明領域を用いて露光を行うのは、後述する投影光学系POの諸収差が最も小さい領域のみを使用できるようにするためである。また、レチクルRのパターン領域PAのX方向両端部には、Y方向に沿って所定間隔で位置合わせマークとしてのレチクルアライメントマークRM1～RM6が形成されている。レチクルアライメントマークRM1とRM4、RM2とRM5、RM3とRM6は、それぞれほぼX方向に沿って配置されている。

図5から明らかなように円弧状の照明領域IAを用いる場合には、一括露光（静止露光）を行うのは現実的でないため、本実施形態では後述するようにして走査露光が行われる。

レチクルRは、前述したようにその表面に反射層が形成されるため、レチクルRそのものの素材は特に問わない。レチクルRの素材としては、例えば低膨張ガラス、石英ガラス（例えば、ショット社のゼロデュア（商品名）、コーニング社のULE（商品名）なども含む）、セラミックス、シリコンウエハなどが考えられる。この素材の選択の基準として、例えばレチクルホルダRHの素材と同一の素材をレチクルRの素材として用いることが挙げられる。かかる場合には、露光用照明光ELの照射等による温度上昇に起因してレチクルRやレチクルホルダRHに熱膨張が生じるが、両素材が同一であれば同一量だけ膨張するので、両者の間にずれようとする力（熱応力）が働かないというメリットがある。これに限らず、異なる物質であっても同じ線膨張率を持った物質をレチクルRとレチクルホルダRHとの素材として用いれば、同じ効果が得られる。例えば、レチクルRにシリコンウエハ、レチクルホルダRHにSiC（炭化珪素）を用いることが考えられる。レチクルRの素材としてシリコンウエハを用いると、パターン描画装置やレジスト塗布装置、エッチング装置などのプロセス装置などがそのまま使用できると言う利点もある。本実施形態では、かかる理由により、レチクルRの素材としてシリコンウエハを用い、レチクルホルダをSiCによって形成している。

図1に戻り、レチクルRの下方（EUV光の入射側）には可動式ブラインド42、視野絞りとしてのスリット板44とがレチクルRに近接して配置されている。より具体的には、これら可動式ブラインド42、スリット板44は、実際には、図4に示されるようにレチクルステージベース32の内部に配置されている。

スリット板44は、円弧状の照明領域IAを規定するもので、投影光学系P0に対して固定されていても勿論良いが、本実施形態においては、このスリット板44は、モータ等を含む切替機構としての駆動機構46によって駆動可能に構成されている。図7には、このスリット板44及びその駆動機構46の平

面図が示されている。スリット板 4 4 には、露光用照明光としての E U V 光 E L が照射されるレチクル R 上の円弧状の照明領域（第 1 照明領域） I A を規定する第 1 スリット 4 4 a と、レチクル R のパターン領域 P A の両側に形成されたアライメントマーク R M 1 と R M 4（あるいは、R M 2 と R M 5、R M 3 と R M 6）部分に露光用照明光 E L が照射される第 2 照明領域を規定する第 2 スリット 4 4 b とを有する。駆動機構 4 6 は、モータ 4 6 A とこのモータの出力軸に継ぎ手 4 6 B を介して連結された送りねじ 4 6 C と、前記モータ 4 6 A の制御部 4 6 D とを備えている。スリット板 4 4 の図 7 における紙面裏側に突設されたナット部（図示省略）に送りねじ 4 6 C が螺合している。このため、モータ 4 6 A の回転によって送りねじ 4 6 C が回転駆動され、これによって送りねじ 4 6 C の軸方向（Y 方向）にスリット板 4 4 が駆動されるようになっている。駆動機構 4 6 の制御部 4 6 D は、後述する主制御装置 8 0（図 1 0 参照）からの指示に従って、露光時には、スリット板 4 4 を、露光用照明光 E L が第 1 スリット 4 4 a に照射される第 1 位置に切り替え、レチクル R の位置合わせ（アライメント）時には、スリット板 4 4 を、露光用照明光 E L が第 2 スリット 4 4 b に照射される第 2 位置に切り替えるようになっている。なお、送りねじ機構の代わりに、例えばリニアモータを用いてスリット板 4 4 を駆動しても良い。

図 4 に戻り、前記可動式ブラインド 4 2 は、同一レチクル R 内に描かれた冗長回路パターンをウエハ W に転写したくない場合、その冗長回路部分が照明領域 I A 内に含まれるのを防止するためのもので、本実施形態では、後述する主制御装置 8 0（図 1 0 参照）からの指示に応じ、駆動機構 4 6 を構成する前記制御部 4 6 D によってレチクルステージ R S T の Y 方向の移動と同期してその Y 方向の移動が制御されるようになっている。この場合において、可動式ブラインド 4 2 の始動は、レチクル R が走査し始めてからレチクル R と同じように走査し始めても良いし、レチクルの走査開始前から走査を開始しても良い。後

者の場合には、加速度が小さくて済む。あるいは、可動式ブラインド 42 は、目標の隠すべきパターンが差し掛かるのに合わせて動き始めても良い。

図 1 に戻り、前記投影光学系 P O は、前記の如く、反射光学素子（ミラー）のみから成る反射光学系が使用されており、ここでは、投影倍率 1 / 4 倍のものが使用されている。従って、レチクル R によって反射され、レチクル R に描かれたパターン情報を含む E U V 光 E L は、投影光学系 P O によって 4 分の 1 に縮小されてウエハ W 上に照射される。

ここで、投影光学系 P O について図 8 を用いてより詳細に説明する。この図 8 に示されるように、投影光学系 P O は、レチクル R で反射された E U V 光 E L を順次反射する第 1 ミラー M 1、第 2 ミラー M 2、第 3 ミラー M 3、第 4 ミラー M 4 の合計 4 枚のミラー（反射光学素子）と、これらのミラー M 1 ~ M 4 を保持する鏡筒 P P とから構成されている。前記第 1 ミラー M 1 及び第 4 ミラー M 4 の反射面は非球面の形状を有し、第 2 ミラー M 2 の反射面は平面であり、第 3 ミラー M 3 の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約 50 分の 1 から 60 分の 1 以下の加工精度が実現され、R M S 値（標準偏差）で 0.2 nm から 0.3 nm 以下の誤差しかない。各ミラーの素材は低膨張ガラスあるいは金属であって、表面にはレチクル R と同様の 2 種類の物質を交互に重ねた多層膜により E U V 光に対する反射層が形成されている。

この場合、図 8 に示されるように、第 1 ミラー M 1 で反射された光が第 2 ミラー M 2 に到達できるように、第 4 ミラー M 4 には穴が空けられている。同様に第 4 ミラー M 4 で反射された光がウエハ W に到達できるよう第 1 ミラー M 1 には穴が設けられている。勿論、穴を空けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な切り欠きを有する形状としても良い。

投影光学系 P O が置かれている環境も真空であるため、露光用照明光の照射による熱の逃げ場がない。そこで、本実施形態では、ミラー M 1 ~ M 4 と当該ミラー M 1 ~ M 4 を保持する鏡筒 P P の間をヒートパイプ H P で連結するとと



もに、鏡筒 P P を冷却する冷却装置を設けている。すなわち、鏡筒 P P を内側のミラー保持部 5 0 と、その外周部に装着された冷却ジャケット 5 2 との 2 重構造とし、冷却ジャケット 5 2 の内部には、冷却液を流入チューブ 5 4 側から流出チューブ 5 6 側に流すための螺旋状のパイプ 5 8 が設けられている。ここでは、冷却液として冷却水が用いられている。冷却ジャケット 5 2 から流出チューブ 5 6 を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ 5 4 を介して冷却ジャケット 5 2 内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

このため、本実施形態の投影光学系 P O では、露光用照明光 (E U V 光) E L の照射によりミラー M 1、M 2、M 3、M 4 に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプ H P により一定温度に温度調整された鏡筒 P P との間で熱交換が行われて、ミラー M 1、M 2、M 3、M 4 が前記一定温度に冷却されるようになっている。この場合において、本実施形態では、図 8 に示されるように、ミラー M 1、M 2、M 4 等については、その裏面側のみでなく表面側 (反射面側) の露光用照明光が照射されない部分にもヒートパイプ H P が貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。なお、第 3 ミラー M 3 の裏面側や第 1 ミラー M 1 の表面側のヒートパイプ H P は、紙面の奥行き方向において鏡筒 P P の内周面に達していることは言うまでもない。なお、鏡筒 P P の外観は、図 6 に示されるように、四角柱状をしている。

図 1 に戻り、前記ウエハステージ W S T は、X Y 平面に沿って配置されたウエハステージベース 6 0 上に配置され、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 6 2 によって該ウエハステージベース 6 0 上に浮上支持されている。このウエハステージ W S T は、前記磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 6 2 によって X 方向及び Y 方向に所定ストロークで駆動されるとともに、 $\theta$  方向 (Z 軸



回りの回転方向)にも微小量駆動されるようになっている。また、このウエハステージW S Tは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ6 2によってZ方向及びX Y面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

ウエハステージW S Tの底面には、永久磁石(図示省略)が設けられており、この永久磁石とウエハステージベース6 0上にX Y 2次元方向に張り巡らされたコイル(図示省略)とによって前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ6 2が構成されており、後述する主制御装置8 0により前記コイルに流す電流を制御することによってウエハステージW S Tの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

ウエハステージW S Tの上面には、静電チャック方式の不図示のウエハホルダが載置され、該ウエハホルダによってウエハWが吸着保持されている。また、このウエハステージW S Tの図1におけるY方向他側の側面には鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面7 4 aが形成されている。また、図1では図示が省略されているが、図6に示されるように、ウエハステージW S TのX方向一侧の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面7 4 bが形成されている。そして、この露光装置1 0では、前記反射面7 4 a、7 4 bに測定ビームを照射する干渉計システムによって投影光学系P Oに対するその位置が正確に測定されるようになっている。この干渉計システムについては後述する。

ウエハステージW S T上面の一端部には、レチクルRに描画されたパターンがウエハW面上に投影される位置と、アライメント光学系A L Gの相対位置関係の計測(いわゆるベースライン計測)等を行うための位置検出系としての空間像計測器F Mが設けられている(図1参照)。この空間像計測器F Mは、従来のD U V露光装置の基準マーク板に相当するものである。

図9(A)、(B)には、この空間像計測器F Mの平面図、縦断面図がそれぞれ示されている。これらの図に示されるように、空間像計測器F Mの上面には、

開口としてのスリット S L T 1、S L T 2 が形成されている。これらのスリット S L T 1、S L T 2 は、ウエハステージ W S T の上面に固定された所定厚さの蛍光発生物質 6 3 の表面に形成された E U V 光の反射層 6 4 にパターンニングされたものである。なお、反射層 6 4 に代えて E U V 光の吸収層を設け、この吸収層に開口を形成してもよい。

前記スリット S L T 1、S L T 2 の下方のウエハステージ W S T の上面板には、開口 6 6 a、6 6 b がそれぞれ形成されており、これらの開口 6 6 a、6 6 b に対向するウエハステージ W S T の内部には、フォトマルチプライヤ等の光電変換素子 P M がそれぞれ配置されている。従って、投影光学系 P O を介して上方から空間像計測器 F M に E U V 光 E L が照射されると、スリット S L T 1、S L T 2 を透過した E U V 光が蛍光発生物質 6 3 に到達し、該蛍光発生物質 6 3 が E U V 光に比べて波長の長い光を発する。この光が光電変換素子 P M によって受光されその光の強度に応じた電気信号に変換される。この光電変換素子 P M の出力信号も主制御装置 8 0 に供給されるようになっている。ここで、スリット S L T 1、S L T 2 の位置関係は、レチクル R 上に X 方向に沿って配置されたレチクルアライメントマーク R M 1 と R M 4 (R M 2 と R M 5、あるいは R M 3 と R M 6) との位置関係にほぼ対応した関係となっており、後述するレチクルアライメントの際には、スリット S L T 1、S L T 2 を介してレチクルアライメントマーク R M 1 と R M 4 を同時計測できるようになっている。

次に、図 6 を用いて、レチクルステージ R S T 及びウエハステージ W S T の位置を計測する干渉計システム 7 0 (図 1 0 参照) の構成等について詳述する。なお、図 6 においては、各レーザ干渉計の測長軸を用いて該当するレーザ干渉計を代表的に示している。

この干渉計システム 7 0 は、レチクルステージ R S T の X Y 面内の位置を計測する 4 つのレーザ干渉計 R I F X 1、R I F X 2、R I F Y 1、R I F Y 2 と、ウエハステージ W S T の X Y 面内の位置を計測する 4 つのレーザ干渉計 W

I F X 1、W I F X 2、W I F Y 1、W I F Y 2とを含んで構成されている。

干渉計 R I F Y 1 は、レチクルステージ R S T の反射面 4 0 a に計測ビーム R I F Y 1 M を投射するとともに、投影光学系 P O の鏡筒 P P に取り付けられた固定鏡（参照鏡） 7 2 a（図 1 参照）に参照ビーム R I F Y 1 R を投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビーム R I F Y 1 M の投射位置での固定鏡 7 2 a に対するレチクルステージ R S T の Y 方向の相対位置を計測する。

同様に、干渉計 R I F Y 2 は、レチクルステージ R S T の反射面 4 0 a に計測ビーム R I F Y 2 M を投射するとともに、投影光学系 P O の鏡筒 P P に取り付けられた固定鏡（参照鏡） 7 2 a（図 1 参照）に参照ビーム R I F Y 2 R を投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビーム R I F Y 2 M の投射位置での固定鏡 7 2 a に対するレチクルステージ R S T の Y 方向の相対位置を計測する。

上記 2 つの干渉計 R I F Y 1、R I F Y 2 の計測ビーム R I F Y 1 M、R I F Y 2 M の照射位置の中心が照明領域 I A の中心（レチクル R の X 方向の中心）と一致するようになっている。従って、これら 2 つの干渉計の計測値の平均値がレチクルステージ R S T の Y 方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがレチクルステージ R S T の回転角（ここでは  $\alpha 1$  とする）を与える。これらの干渉計 R I F Y 1、R I F Y 2 の計測値は、主制御装置 8 0 に供給されており、主制御装置 8 0 では上記平均値、及び回転角  $\alpha 1$  を算出する。

また、干渉計 R I F X 1 は、レチクルステージ R S T の反射面 4 0 b に計測ビーム R I F X 1 M を投射するとともに、投影光学系 P O の鏡筒 P P に取り付けられた固定鏡（参照鏡） 7 2 b に参照ビーム R I F X 1 R を投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビーム R I F X 1 M の投射位置での固定鏡 7 2 b に対するレチクルステージ R S T の X 方向の相対位置を計測する。

同様に、干渉計 R I F X 2 は、レチクルステージ R S T の反射面 4 0 b に計測ビーム R I F X 2 M を投射するとともに、投影光学系 P O の鏡筒 P P に取り付けられた固定鏡（参照鏡） 7 2 b に参照ビーム R I F X 2 R を投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビーム R I F X 2 M の投射位置での固定鏡 7 2 b に対するレチクルステージ R S T の X 方向の相対位置を計測する。

上記 2 つの干渉計 R I F X 1、R I F X 2 の計測ビーム R I F X 1 M、R I F X 2 M の照射位置の中心が照明領域 I A の中心（図 5 中の点 P 2 参照）と一致するようになっている。従って、これら 2 つの干渉計の計測値の平均値がレチクルステージ R S T の X 方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがレチクルステージ R S T の回転角（ここでは  $\alpha 2$  とする）を与える。これらの干渉計 R I F X 1、R I F X 2 の計測値は、主制御装置 8 0 に供給されており、主制御装置 8 0 では上記平均値、及び回転角  $\alpha 2$  を算出する。この場合、主制御装置 8 0 では上記の回転角  $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$  のいずれか一方、又はその平均値  $(\alpha 1 + \alpha 2) / 2$  をレチクルステージ R S T の  $\theta$  方向の回転角として算出する。

干渉計 W I F Y 1 は、ウエハステージ W S T の反射面 7 4 a に計測ビーム W I F Y 1 M を投射するとともに、投影光学系 P O の鏡筒 P P に取り付けられた固定鏡（参照鏡） 7 6 a に参照ビーム W I F Y 1 R を投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビーム W I F Y 1 M の投射位置での固定鏡 7 6 a に対するウエハステージ W S T の Y 方向の相対位置を計測する。

同様に、干渉計 W I F Y 2 は、ウエハステージ W S T の反射面 7 4 a に計測ビーム W I F Y 2 M を投射するとともに、投影光学系 P O の鏡筒 P P に取り付けられた固定鏡（参照鏡） 7 6 a に参照ビーム W I F Y 2 R を投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビーム W I F Y 2 M の投射位置での固定鏡 7 6 a に対するウエハステージ W S T の Y 方向の相対位置を計測する。

上記2つの干渉計W I F Y 1、W I F Y 2の計測ビームW I F Y 1 M、W I F Y 2 Mの照射位置の中心が照明領域I Aに対応するウエハ上の円弧状の露光領域S A（図11参照）の中心と一致している。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がウエハステージW S TのY方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがウエハステージW S Tの回転角（ここでは $\beta 1$ とする）を与える。これらの干渉計W I F Y 1、W I F Y 2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\beta 1$ を算出する。

また、干渉計W I F X 1は、ウエハステージW S Tの反射面74bに計測ビームW I F X 1 Mを投射するとともに、投影光学系P Oの鏡筒P Pに取り付けられた固定鏡（参照鏡）76bに参照ビームW I F X 1 Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームW I F X 1 Mの投射位置での固定鏡76bに対するウエハステージW S TのX方向の相対位置を計測する。

同様に、干渉計W I F X 2は、ウエハステージW S Tの反射面74bに計測ビームW I F X 2 Mを投射するとともに、投影光学系P Oの鏡筒P Pに取り付けられた固定鏡（参照鏡）76bに参照ビームW I F X 2 Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームW I F X 2 Mの投射位置での固定鏡76bに対するウエハステージW S TのX方向の相対位置を計測する。

上記2つの干渉計W I F X 1、W I F X 2の計測ビームW I F X 1 M、W I F X 2 Mの照射位置の中心が照明領域I Aに対応する露光領域S Aの中心と一致している。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がウエハステージW S TのX方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがウエハステージW S Tの回転角（ここでは $\beta 2$ とする）を与える。これらの干渉計W I F X 1、W I F X 2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\beta 2$ を算出する。この場合、主制御装置80では上記の回転角 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ のいずれか一方、又はその平均値



$(\beta 1 + \beta 2) / 2$  をウエハステージ W S T の  $\theta$  方向の回転角として算出する。

さらに、本実施形態では、図示は省略されているが、レチクルステージ R S T、ウエハステージ W S T のピッチング、ローリングを計測するピッチング干渉計とローリング干渉計とがそれぞれ設けられており、これらの干渉計の計測値に基づいて主制御装置 8 0 により、ウエハステージ W S T、レチクルステージ R S T のピッチング及びローリングが算出されるようになっている。

図 1 に戻り、上記 8 つの干渉計の全ての計測の基準となる投影光学系 P O の鏡筒 P P には、レチクル R の Z 方向の位置を計測するレチクル面測定用レーザ干渉計 R I F Z が設けられている。このレーザ干渉計 R I F Z は、実際には、図 6 に示されるように、レーザ干渉計 R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3 の 3 つが所定間隔で配置され、鏡筒 P P に固定されているが、図 1（及び図 4）では、これらが代表的にレーザ干渉計 R I F Z として示されている。

これらのレーザ干渉計 R I F Z 1 ~ R I F Z 3 からの測定ビームは、折り返しミラー M を介して所定の入射角  $\theta$  でレチクル R のパターン面に投射される露光用照明光 E L の照射領域、すなわち円弧状の照明領域 I A 内の異なる 3 点に露光用照明光 E L の入射光路と出射光路（反射光路）の中心の Z 方向の光路を通過してレチクル R のパターン面に投射されるようになっている（図 1 及び図 4 参照）。このため、レーザ干渉計 R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3 は、レチクル R のパターン面に所定の入射角  $\theta$  で斜めから入射し、入射角と同一の出射角で反射される露光用照明光 E L に影響を及ぼすことなく、かつ露光用照明光 E L によって干渉計測定ビームが影響を及ぼされることなく、高精度（例えば、数 nm ~ 1 nm 以下の精度）でレチクル R の Z 方向位置を計測することが可能になっている。

レーザ干渉計 R I F Z 1 ~ R I F Z 3 としては、ここでは、本体内に不図示の参照鏡が内蔵された参照鏡内蔵タイプのものが用いられ、その参照鏡の位置を基準としてレチクル R 上の測定ビームの照射位置の Z 方向位置を、それぞれ

計測する。この場合、図5に示される照明領域I A内の点P 1の位置にレーザ干渉計R I F Z 1からの測定ビームが投射され、点P 2の位置にレーザ干渉計R I F Z 2からの測定ビームが投射され、点P 3の位置にレーザ干渉計R I F Z 3からの測定ビームが投射されるようになっている。点P 2は、照明領域I Aの中心、即ちパターン領域P AのX方向の中心軸上の点でかつ照明領域I AのY方向の中心点であり、点P 1、P 3は前記中心軸に関して対称の位置にある。

これら3つのレーザ干渉計R I F Z 1～R I F Z 3の計測値は、主制御装置80に入力されるようになっており（図10参照）、主制御装置80ではこれら3つの計測値に基づいて後述するようにして磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージR S T、すなわちレチクルRのZ位置及び傾斜（ピッチング、ローリング）を補正するようになっている。

なお、本実施形態では、前述の如く、レチクル面測定用レーザ干渉計R I F Zの他にレチクルステージR S Tのピッチング及びローリングを計測するピッチング干渉計とローリング干渉計とが設けられているので、レチクルR（レチクルステージR S T）のピッチング、ローリングをより高精度に制御するためには、主制御装置80ではレーザ干渉計R I F Z 1～R I F Z 3の計測値と上記ピッチング干渉計及びローリング干渉計の計測値とに基づいて、レチクルパターン面の凹凸に起因する誤差（これは無視できる程度に小さい）分を補正するようにしても良い。

この一方、鏡筒P Pを基準とするウエハWのZ方向位置は、投影光学系P Oに固定された斜入射光式のフォーカスセンサ14によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ14は、図1に示されるように、鏡筒P Pを保持する不図示のコラムに固定され、ウエハW面に対し斜め方向から検出ビームF Bを照射する送光系14aと、同じく不図示のコラムに固定され、ウエハW面で反射された検出ビームF Bを受光する受光系14bとから構成される。

このフォーカスセンサとしては、例えば特開平 6 - 2 8 3 4 0 3 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 4 4 8, 3 3 2 号等の開示される多点焦点位置検出系が用いられている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。このフォーカスセンサ 1 4 ( 1 4 a、1 4 b ) は鏡筒 P P と一体的に固定されることが重要である。

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、レチクル R の X Y Z 3 次元方向の位置が投影光学系 P O の鏡筒 P P を基準として計測され、また、ウエハ W の X Y Z 3 次元方向の位置が投影光学系 P O の鏡筒 P P を基準として計測されるので、投影光学系 P O とレチクルステージ R S T とウエハステージ W S T の 3 者は同一の支持部材で支えられる必要は無く、それぞれが別々の支持部材によって支えられても差し支えない。すなわち、投影光学系 P O、レチクルステージ R S T 及びウエハステージ W S T の 3 者間に機械的接触は全くなくても差し支えない。また、前述した干渉計システム 7 0 を構成する各干渉計の本体も、鏡筒 P P に取り付けられたそれぞれの固定鏡を参照して計測を行っているので、投影光学系 P O、レチクルステージ R S T、ウエハステージ W S T と機械的接触は必要無い。

さらに、本実施形態では、投影光学系 P O の側面に、図 1 に示されるように、前記アライメント光学系 A L G が固定されている。このアライメント光学系 A L G としては、ブロードバンド光をウエハ W 上のアライメントマーク（または空間像計測器 F M）に照射し、その反射光を受光して画像処理方式によりマーク検出を行う結像式アライメントセンサ、レーザ光を格子マークに照射して回折光を検出する L I A ( Laser Interferometric Alignment ) 方式のアライメントセンサや A F M ( 原子間力顕微鏡 ) のような走査型プローブ顕微鏡等種々のものを用いることができる。ここでは、アライメント光学系 A L G として、焦点検出系が組み込まれた画像処理方式の結像式アライメントセンサを使用す

るものとする。かかる焦点検出系が組み込まれた結像式アライメントセンサは、例えば特開平 7-321030 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,721,605 号等の開示されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

図 10 には、これまでに各所で説明した、ウエハ W (ウエハステージ W S T) 及びレチクル R (レチクルステージ W S T) の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成が概略的にブロック図にて示されている。この図 10 に示される制御系の内、主制御装置 80 はマイクロコンピュータ (又はワークステーション) によって構成され、記憶装置としてのメモリ (R A M) 81 が内蔵されている。本実施形態では、主制御装置 80 及び磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 34、62 によって駆動装置が構成されている。

次に、上述のようにして構成された本第 1 の実施形態に係る露光装置 10 による第 2 層目 (セカンドレイヤ) 以降の露光工程の動作について説明する。

まず、不図示のレチクル搬送系によりレチクル R が搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージ R S T のレチクルホルダ R H に吸着保持される。また、不図示のウエハ搬送系及びウエハステージ W S T 上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ W がウエハステージ W S T 上に載置される。このような準備作業の完了により、図 12 のフローチャートで示されるシーケンスがスタートする。

#### 〈ステップ 100〉

まず、主制御装置 80 ではウエハステージ W S T 上のウエハ W の各ショット領域に付設されたウエハアライメントマークの内の予め定めたサンプル対象となっているウエハアライメントマーク (1 つのショットについて 1 個又は複数) の位置検出を、ウエハステージ W S T を順次移動させつつ、アライメント光学系 A L G を用いて行う。このマーク位置の検出の際、主制御装置 80 では

ウエハW表面のZ位置をアライメント光学系ALGの焦点位置に制御する。そして、サンプルショットのウエハアライメントマークの位置検出が終了すると、主制御装置80では、それらのデータを用いて、例えば特開昭61-44429号公報及びこれに対応する米国特許第4,780,617号等の開示される最小2乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハW上の全てのショット領域の配列座標を求める(以下、このアライメント手法を「EGA(エンハンスト・グローバル・アライメント)」と呼ぶ)。あるいは、主制御装置80では、上記のショット内の複数のウエハアライメントマークの位置検出データを用いて例えば特開平6-275496号公報及びこれに対応する米国特許出願第569,400号(出願日:1995年12月8日)等の開示される最小2乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハW上の全てのショット領域の配列座標及び各ショットの倍率を含む変形量を求める(以下、このアライメント手法を「ショット内多点EGA」と呼ぶ)。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報並びにこれらに対応する上記米国特許及び上記米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

〈ステップ102〉

このようにして、アライメント計測が終了すると、上記のEGAの結果よりわかるショット間隔、あるいは上記のショット内多点EGAの結果よりわかるショットサイズに基づいて、ショットの倍率変化(X、Yスケーリング)を計算し、その倍率変化量に応じてレチクルパターンの像のX方向(第2方向)の大きさを正確にウエハW上のショット領域の大きさに一致させるための投影倍率の制御量、すなわちレチクルRのZ方向駆動量を算出し、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルRを前記算出した量だけZ方向(上下方向)に駆動する。例えば、所定の倍率より10ppm拡大する場合、レチクルRを40 $\mu$ mだけ投影光学系POから離れる方向に駆動する。



## 〈ステップ 104〉

上記のレチクルRのZ駆動により、投影倍率の変動及びレチクルパターン像の投影領域の位置ずれが生ずるため、このステップ104で、主制御装置80では、次のようにしてベースライン計測、及び投影倍率の計測を行う。

主制御装置80では駆動機構46を介してスリット板44を露光用照明光E<sub>L</sub>が第2スリット44bを照射可能な位置(第2位置)へ切り替える。次いで、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62、34を介してウエハステージWST及びレチクルステージRSTの位置を制御して、レチクルR上に描画されたレチクルアライメントマークRM1、RM4、RM2、RM5、RM3、RM6を順次各2つ露光用照明光E<sub>L</sub>で照射するとともに、レチクルアライメントマークRM1、RM4、RM2、RM5、RM3、RM6のウエハW面上への投影像を、空間像計測器FMのスリットSLT1、SLT2をそれぞれ介して検出することにより、レチクルパターン像のウエハW面上への投影位置を求める。すなわち、レチクルアライメントを行う。このレチクルアライメントのため、空間像計測器FMを用いて前記投影像を検出する際には、主制御装置80では、レチクルRのZ駆動により空間像計測器FMで得られる像にボケが生じないように、レチクルRのZ駆動量に対応したオフセットをフォーカスセンサ14に与えて空間像計測器FM表面を投影光学系POの焦点位置に制御する。具体的には、主制御装置80では、レチクルRを40μmだけ投影光学系POから離れる方向に駆動した場合には、投影倍率が1/4であるから、 $40 \times 1/4 = 10$  μmのオフセットをフォーカスセンサ14に与え、このフォーカスセンサ14の出力に基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTのZ位置をフィードバック制御し、ウエハWを10μmだけ投影光学系POに近づける。

次に、主制御装置80では、空間像計測器FMのスリットSLT1またはSLT2がアライメント光学系ALGの直下へ位置するように、磁気浮上型2次

元リニアアクチュエータ 62 を介してウエハステージ W S T を移動するとともに、アライメント光学系 A L G の焦点位置に空間像計測器 F M 表面の Z 位置を調整する。そして、主制御装置 80 では、アライメント光学系 A L G の検出信号及びそのときの干渉計システム 70 の計測値に基づいて、間接的にレチクル R のパターン像のウエハ W 面上への投影位置とアライメント光学系 A L G の相対位置、すなわちベースライン量を求め、その演算結果をメモリ 81 に記憶する。なお、空間像計測器 F M のスリット S L T 1、S L T 2 の丁度中間の位置に別の基準マークを形成し、この基準マークをアライメント光学系 A L G で検出することにより、ベースライン量を求めても良い。かかる場合には、アライメント光学系 A L G の検出結果と、ベースライン量の設計値とに基づいてベースライン量をほぼ正確に求めることができる。

また、このステップ 104 において、主制御装置 80 では、上記のレチクルアライメントの際に、空間像計測器 F M のスリット S L T 1、S L T 2 をそれぞれ介して検出されたレチクル R 上に非走査方向並んで配置されたレチクルアライメントマーク R M 1 と R M 4 (R M 2 と R M 5、又は R M 3 と R M 6) のウエハ W 面上への投影像の間隔に基づいて投影倍率を求める。

(ステップ 106)

このステップ 106 において、主制御装置 80 では上記ステップ 104 の倍率計測の結果に基づいて、目標とする倍率調整量、上の例では 10 p p m、に対し投影倍率の調整残留誤差が許容値 (例えば 0.2 p p m) 以下となっているか否かを判断する。そして、このステップ 106 における判断が否定された場合、すなわち投影倍率の調整残留誤差が許容値を越えていた場合、主制御装置 80 では投影倍率を再設定するため、ステップ 102 に戻り、再びレチクル R を Z 方向に駆動した後、上記処理・判断を繰り返す。一方、ステップ 106 における判断が肯定された場合、すなわち投影倍率の調整残留誤差が許容値以下となっていたら、主制御装置 80 では駆動機構 46 を介してスリット板 44

を第1スリット44aに露光用照明光E<sub>L</sub>が照射される位置(第1位置)へ切り替えた後、次のステップ108に移行する。

〈ステップ108〉

このステップ108において、主制御装置80では次のようにしてステップアンドスキャン方式の露光をEUV光を露光用照明光E<sub>L</sub>として用いて行う。すなわち、主制御装置80では上で求めたウエハW上の各ショット領域の位置情報に従って、干渉計システム70からの位置情報をモニタしつつ、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを第1ショットの走査開始位置に位置決めするとともに、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショットの走査露光を行う。この走査露光に際し、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62を介してレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの速度比が投影光学系POの投影倍率に正確に一致するように両ステージの速度を制御し、両ステージのかかる速度比の等速同期状態にて露光(レチクルパターンの転写)を行う。走査中にレチクルRが上下動するが、それを干渉計RIFZでモニターしておき、レチクルRのZ位置、傾きが初期位置に維持される、すなわち倍率の残留誤差が許容値以下に維持されるように、レチクルステージRSTの移動を制御する。これにより、この走査露光中の走査方向(第1方向)のレチクルパターン像の投影倍率が制御される。こうして第1ショットの走査露光が終了すると、ウエハステージWSTを第2ショットの走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショットの走査露光を上述と同様にして行う。この場合、レチクルステージRSTを戻す動作を省略してスループットの向上を図るべく、第1ショットと第2ショットとの走査露光の方向は反対向きで、すなわち第1ショットの露光がY軸上の一側から他側の向きで行われた場合には第2ショットの露光は他側から一側の向きで行われる。すなわち交互スキャン

が行われる。このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップアンドスキャン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。図11には、このようにして、レチクルパターンがウエハW上の複数ショット領域Sに転写される様子が示されている。図11の場合は、1枚のウエハから効率良く完全な形のショットが得られるよう、一行内に収めるショット数を適宜偶数、奇数としている。

以上のようにして、露光装置10による、1枚のウエハWに対する一連の処理工程が終了する。

上記の走査露光中やアライメント中には、投影光学系P0に一体的に取付けられたフォーカスセンサ(14a、14b)によってウエハW表面と投影光学系P0の間隔、XY平面に対する傾斜が計測され、主制御装置80によって磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハW表面と投影光学系P0との間隔、平行度が常に一定になるようにウエハステージWSTが制御される。但し、走査露光中には投影光学系P0の焦点位置に、また、アライメント中にはアライメント光学系ALGの焦点位置にウエハW表面のZ位置目標値が設定される。

また、主制御装置80では、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つにより計測された所定の調整用位置情報に基づいて、露光中(レチクルパターンの転写中)の投影光学系P0とレチクルRのパターン面との間隔が常に一定に保たれるように、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を制御してレチクルRの投影光学系P0の光軸方向(Z方向)の位置を調整しつつ、レチクルステージRSTと基板ステージWSTとをY軸方向に沿って同期移動させる。この場合、主制御装置80では、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期移動時に、レチクルステージRSTの移動方向毎、例えば第1ショットと第2ショットとで、レチク

ル面測定用レーザ干渉計 R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3 の少なくとも 1 つによって計測された第 1 の調整用位置情報及び第 2 の調整用位置情報の内の移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いてレチクルステージ R S T の Z 方向位置を調整するようにしても良い。主制御装置 8 0 では、走査中、レチクル面測定用レーザ干渉計 R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3 の少なくとも 2 つを用いてレチクル R の傾きを調整するようにしても良い。また、リアルタイム補正ではなく、予めレチクル R の上下動を計測しておき、その計測値と干渉計とでレチクル R の Z 位置及び傾きを制御しても良い。

従って、本実施形態によると、走査露光によりレチクル R のパターンの全面がウエハ W 上に逐次転写され、この際調整用位置情報に基づいてレチクル R の投影光学系の光軸方向の位置が調整されるので、投影光学系 P O のレチクル側が非テレセントリックであるにもかかわらず、走査露光中のレチクル R の光軸方向変位に起因してウエハ W 上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。また、レチクルステージ R S T が Y 軸に沿って一側から他側に移動するときと、他側から一側に移動するときとで、同期移動中のレチクル R の Z 方向の位置変位がメカ的要因（ステージの移動特性）や制御特性等で異なる場合であっても、その影響を受けることなく、高精度にレチクル R の Z 位置調整を行うことができ、レチクル R の Z 方向変位に起因してウエハ W 上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのをより効果的に抑制することができる。

以上詳細に説明したように、本第 1 の実施形態によると、光源装置 1 2 及び照明光学系（M、4 4）から成る照明系によりレチクル R に対し露光用照明光 E L が斜めから照射されると、レチクル R から出射された露光用照明光が投影光学系 P O によってウエハ W 上に投射され、露光用照明光 E L で照明されたレチクル R 上の領域のパターンがウエハ W 上に転写される。このレチクルパター



ンの転写時には、駆動装置（８０、３４、６２）が投影光学系ＰＯの投影倍率に応じた速度比でレチクルＲとウエハＷとを同期移動する。これにより、レチクルＲのパターンの全面がウエハＷ上のショット領域に転写される。

このレチクルパターンの転写に先立って、主制御装置８０ではアライメント光学系ＡＬＧを用いてウエハＷ上のアライメントマークを検出し、このマーク検出結果に基づいてウエハの伸縮量を求め、それに応じてレチクルＲをＺ方向に駆動して投影光学系ＰＯの非走査方向の投影倍率を調整（変更）する。なお、走査方向の投影倍率は、走査露光時のレチクルステージとウエハステージの同期速度比を調整することにより、実現される。

上記の投影倍率の変更後、主制御装置８０では、ウエハステージＷＳＴ上の空間像計測器ＦＭを用い、スリットＳＬＴ１、ＳＬＴ２（一種の基準マーク）を介してレチクルアライメントマークＲＭ１～ＲＭ６の空間像を検出することにより、前記スリットＳＬＴ１、ＳＬＴ２とレチクルパターン像のウエハステージＷＳＴ上への投影位置との相対位置関係を検出するとともに、前記スリットスリットＳＬＴ１（又はＳＬＴ２）をアライメント光学系ＡＬＧを用いて検出する。すなわち、投影光学系ＰＯの投影倍率に変更されたときに、主制御装置８０により①ウエハステージ上の基準マークＳＬＴ１、ＳＬＴ２とレチクルＲのパターン像のウエハステージＷＳＴ上への投影位置との相対位置関係、及び②ウエハステージＷＳＴ上の基準マークＳＬＴ１（又はＳＬＴ２）とアライメント光学系ＡＬＧの検出中心との位置関係が検出される。①、②の検出結果より、結果的にレチクルＲのパターン像のウエハステージＷＳＴ上への投影位置とアライメント光学系ＡＬＧの検出中心との位置関係、すなわちいわゆるベースライン量が求められる。従って、投影倍率の変更に伴うレチクルパターン像のウエハＷ上への投影位置の位置ずれを補正することができ、投影倍率の変更に伴う重ねあわせ精度の劣化を防止あるいは十分なレベルに抑制することが可能になる。

また、本実施形態によると、照明系（12、M、44）は、照明光ELとして波長5～15nmの間のEUV光をレチクルRに照射し、投影光学系POとして複数の反射光学素子（M1～M4）のみからなる反射光学系が用いられているため、EUV光を用いてレチクルパターンが投影光学系POを介してウエハWに転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能である。

また、本実施形態によると、干渉計システム70がレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの投影光学系POに対するXY面内の相対位置を計測し、レチクルRの投影光学系POに対するZ方向の相対位置がレーザ干渉計RIFZにより計測され、かつウエハWの投影光学系POに対するZ方向の相対位置がフォーカスセンサ14により計測されるようになっているので、レチクルステージRSTとウエハステージWSTと投影光学系POとが別々の支持部材に支持されていても何らの支障がない。このため、レチクルステージRSTとウエハステージWSTと投影光学系POとが機械的に連結される必要がないので、レチクルステージRST、ウエハステージWSTの移動時の加減速度による反力やそれぞれのステージの支持部材の振動が、投影光学系POの結像特性に悪影響を及ぼしたり、一方のステージの移動時の加減速度による反力が支持部材を介して他方のステージの挙動に悪影響を与えることもない。

また、本実施形態によると、照明光学系内のスリット板44は、レチクルパターンの一部に照明光ELを照射する第1スリット44aと、レチクルアライメントマークに照明光ELを照射する第2スリット44bとを有し、照明光ELに対し第1スリット44aと第2スリット44bとを切り替える駆動機構46が設けられていることから、同一のスリット板44により露光時及びアライメント時のそれぞれに適切な照明領域の設定が可能になる。また、この場合、スリット板44のない場合に比べて照明光学系からレチクルRに向かって照射される照明光の断面形状の自由度が増大し、これに応じて照明光学系を構成す

る光学素子の設計の自由度が向上する。

また、本実施形態では、露光用照明光  $E_L$  が軟 X 線領域の光であり、ウエハステージ  $WST$  上に、蛍光発生物質 63 と、この表面に露光用照明光  $E_L$  の反射層 64 の薄膜により形成されたスリット  $SLT1$ 、 $SLT2$  と、該スリット  $SLT1$ 、 $SLT2$  を介して露光用照明光  $E_L$  が蛍光発生物質 63 に到達した際に蛍光発生物質 63 が発する光を光電変換する光電変換素子  $PM$  とを有する位置検出系としての空間像計測器  $FM$  を備えることから、通常軟 X 線領域の光を透過する物質は存在しないにもかかわらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にもその露光用照明光を用いて空間像の計測が可能となり、この空間像計測器  $FM$  を用いてレチクルパターンのウエハステージ  $WST$  上での投影位置を容易に求めること等が可能になる。

また、本実施形態では、レチクル  $R$  のパターンが、 $EUV$  光  $E_L$  の反射層上に成膜された  $EUV$  光（露光用照明光） $E_L$  の吸収物質によって形成されていることから、露光用照明光である軟 X 線領域の光の反射物質から成る多層膜をバタニングする場合と異なり、失敗した場合のパターン修復が可能となる。また、上記吸収物質の材料を適当に選択することにより、上記の露光用照明光の反射層と吸収物質とを干渉計  $RIFZ$  の測長ビーム（例えば可視領域の光）に対してほぼ同一反射率に設定することができ、レチクル  $R$  上の全面でほぼ同一精度でレチクル  $R$  の  $Z$  軸方向位置を計測することが可能となる。

また、上記実施形態では、スリット板 44 を用いて円弧状の照明領域  $IA$  を規定する場合について説明したが、これに限らず、照明光学系を構成する各光学部材が照明光  $E_L$  が円弧状の形になるように設計されていればレチクル  $R$  直下のスリット板 44 は必ずしも設ける必要はない。

また、レチクルアライメントマークは  $RM1 \sim RM6$  の位置ではなく、図 5 中の  $RM7 \sim RM12$  の位置にしても良い。かかる場合には、スリット板 44 として、第 1 スリット 44a のみを有するスリット板があれば良く、また、駆

動機構 4 6 は不要である。あるいは、レチクルアライメントマークを R M 1 ~ R M 1 2 の全ての位置に形成し、これら全てを利用しても良い。

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、投影倍率の変更をレチクル R の投影光学系 P O の光軸方向駆動により実現する倍率変更装置が、レチクル面計測用レーザ干渉計 R I F Z、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 3 6、及び主制御装置 8 0 によって構成されている。しかし、本発明がこれに限定されることはない。すなわち、本発明に係る倍率変更装置を、例えば、投影光学系 P O を構成する一部のミラーの曲率を部分的に調整したり、あるいはミラー間隔を調整することにより、投影光学系 P L の光学特性を変更する装置によって構成しても良い。

図 1 3 には、この種の光学特性変更装置 5 9 が設けられた投影光学系 P O の一例がレチクルステージ R S T 及びウエハステージ W S T とともに示されている。この図 1 3 において、第 1 ミラー M 1 は金属製でその表面には 2 種類の物質を交互に重ねた多層膜により E U V 光に対する反射層が形成されている。この第 1 ミラー M 1 には、その反射面の曲率を部分的に変更する変更装置 5 9 が併設されている。この変更装置 5 9 は、例えば、第 1 ミラー M 1 の反射面の裏面側の一部を押したり、引いたりする駆動軸を備えた機構によって構成することができる。かかる変更装置 5 9 を備えた露光装置に本発明を適用する場合には、レチクル R とウエハ W とを同期移動して、レチクル R のパターンを投影光学系 P O を介してウエハ W 上に転写するに先立って、変更装置 5 9 により、投影光学系 P O の光学特性を調整する。そして、レチクルパターンのウエハ W への転写時には、前記の光学特性の調整に起因して生じる、投影光学系 P O のイメージフィールド内での、パターン像の投影領域のシフトを補償するように、レチクル R とウエハ W との同期移動中におけるパターン像の投影領域とウエハとの位置関係を調整すれば良い。この位置関係の調整は、上記実施形態と同様に、光学特性の調整後に、ベースライン計測を行って投影光学系 P O のイメー

ジフィールド内での、パターン像の投影領域のシフト量を求めた結果に基づいて行っても良く、あるいは、予め求めた光学特性の調整量と前記パターン像の投影領域のシフト量との関係に基づいて計算により、前記シフト量又はベースライン量の変動量を求め、この結果に基づいて、ウエハWの各ショット領域の露光のための走査開始位置を調整するようにしても良い。これにより、光学特性の調整に伴う重ね合わせ精度の劣化を防止あるいは十分に抑制することができる。

また、レチクルパターンのウエハ上への投影倍率等の結像特性を含む投影光学系の光学特性を変化させる方法として、例えばレチクルの温度を変化させて倍率を制御することも可能であるが、かかる手法により投影倍率等を変化させた場合にも、本発明を適用してベースライン計測を行なっても良く、かかる場合であっても投影倍率等の変化に起因するパターン像の位置ずれを補正することができる。

また、上記実施形態では、ウエハアライメントの結果に基づいて、投影倍率の制御を行なう場合について説明したが、これに限らず、事前に露光条件設定ファイルに入れている投影倍率に基づいて投影倍率を制御する場合や、露光中にレチクルの温度が露光光などにより上昇してしまった時、そのレチクルの熱膨張量に応じて倍率を制御する場合等であっても、その倍率制御のためにレチクルを上下させた場合には、それに応じて上記と同様にベースライン量を補正することにより、倍率の変更に伴うパターン像の位置ずれ補正が可能となる。

なお、上記実施形態では、マーク検出系としてオフアキシスのアライメント光学系を用いる場合を例示したが、本発明がこれに限定されることはなく、露光位置とアライメントビームの照射位置とが異なるのであれば、TTL (Through The Lens) 方式、TTR (Through The Reticle) 方式等のオンアキシスのアライメント光学系をマーク検出系として用いる場合であっても、倍



率変更後にベースライン計測を行うことは有効である。

また、上記実施形態では、空間像計測器 F M によるレチクルアライメントマークの計測と、アライメント光学系 A L G による基準マークの計測とを非同時に行う場合について説明したが、これに限らず、大きな空間像計測器を用い、上記スリット S L T 1、S L T 2 を介してのレチクルアライメントマークの検出（空間像計測）と、アライメント光学系 A L G による基準マークの計測とを同時に行うようにしても良い。この場合、空間像計測器 F M と基準マークのそれぞれの位置で投影光学系 P O、アライメント光学系 A L G の各焦点位置に空間像計測器 F M 表面の Z 位置が制御されるように、空間像計測器 F M の表面を傾けることが望ましい。

ところで、同一ロットのウエハは同一の過程で処理されるので、ウエハの伸縮量もほぼ同じであると推測される。従って、例えば、1 ロットがウエハ 20 枚であるとすれば最初の 1 枚目で求めたウエハの伸縮量と、2 ～ 20 枚目のウエハの伸縮量とは大きく違わないと予想される。具体的に数値を挙げると、1 枚目のウエハが基準値（例えば設計値）に対して 10 p p m 伸びていた場合、2 枚目以降は基準値に対して約  $(10 \pm 0.5)$  p p m の伸びであることが経験上からわかっている。そうだとすると、1 枚目のウエハの露光時にレチクル R を 40  $\mu$  m 投影光学系 P O から遠ざけた後は、2 枚目以降のウエハの露光の際には、その位置を基準として  $\pm 2 \mu$  m の範囲内でレチクル R を Z 方向に駆動（上下動）すれば足りることになる。このレチクル R の Z 駆動に対応するレチクル像のウエハ上でのシフト量は、 $\pm 25$  n m である。従って、何らかの理由により 10 % もの誤差が生じたとしてもその誤差は  $\pm 2.5$  n m 程度の値である。この値は、ベースラインの計測再現精度と同等であり、わざわざ再計測をする必要は無いことになる。かかる事情に鑑みてなされたものが、次の第 2 の実施形態である。

## 《第 2 の実施形態》

次に、本発明の第2の実施形態について、図14に基づいて説明する。この第2の実施形態は、装置構成等は第1の実施形態と同一であり、主制御装置80による第2層目（セカンドレイヤ）以降の露光工程の制御動作が一部異なるのみであるから、以下においてはこの点を中心に説明する。なお、ここでは、各構成部分について、第1の実施形態と同一の符号を用いるものとする。

図13のフローチャートで示すシーケンスがスタートするのは、ウエハローディング（及び場合によってはレチクルローディング）等の準備作業が終了した時点である。

ステップ200において、主制御装置80では前述したステップ100と同様に、EGA等によりウエハアライメントを行い、次のステップ202において、上記のEGA等のアライメント計測結果に基づいてレチクルパターン像の大きさを正確にウエハW上のショット領域の大きさに一致させるための投影倍率の制御量、すなわちレチクルRのZ方向駆動量を算出し、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介して、レチクルRを前記算出した量だけZ方向（上下方向）に駆動する。

次のステップ204では、主制御装置80では露光対象のウエハWがロットの先頭であるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合には、ステップ208に進み、以後前述した第1の実施形態のステップ106→102→104と同様にして、投影倍率の調整残留誤差が許容値（例えば0.2ppm）以下となるまで、主制御装置80ではステップ210→202→204→208→210のループにて、レチクルRのZ駆動、ベースライン計測及び投影倍率計測、投影倍率の調整残留誤差の許容値との比較を繰り返す。そして、投影倍率の調整残留誤差の許容値以下になると、ステップ212に進んで、前述したステップ108と同様に、主制御装置80ではステップアンドスキャン方式の露光をEUV光を露光用照明光ELとして用いて行い、1枚のウエハWに対する一連の処理工程を終了する。このように、ロット先頭のウエハに対し

ては、前述した第1の実施形態と同様の動作が行われる。従って、このロット先頭のウエハの露光に先立って、ステップ208において実際に計測されたベースライン量が記憶装置としてのメモリ81に記憶されている。

この一方、ロットの2枚目以降のウエハWの露光の際には、上記ステップ204における判断が否定されるので、ステップ206に進み、ベースライン計測を行わず、主制御装置80では既知のレチクルRのZ駆動量とウエハW上でのレチクルパターン像のシフト量との関係を示す比例定数F、例えば、 $F = 12.5 \text{ nm} \div 1 \mu\text{m} = 12.5 \times 10^{-3}$  を用いてベースライン量の変動を計算にて求め、この計算結果に基づいてメモリ81に記憶されているベースライン量を補正する、すなわちベースライン量を更新する。

そして、このベースライン量の更新後に、ステップ212に進んで、前述したステップ108と同様に、主制御装置80ではステップアンドスキャン方式の露光をEUV光を露光用照明光ELとして用いて行い、1枚のウエハWに対する一連の処理工程を終了する。

これまでの説明から明らかなように、本第2の実施形態では、主制御装置80の機能によって制御装置のみでなく、計算装置、及び第2制御装置が実現されている。

以上説明した本第2の実施形態によると、ロット先頭以外のウエハに対してレチクルパターンを転写するに際して、投影光学系POの投影倍率を変更するためにレチクルRをZ駆動したときに、主制御装置80では、既知のレチクルRのZ駆動量とウエハW上でのレチクルパターン像のシフト量との関係に基づいてメモリ81内に記憶されているベースライン量を計算によって補正する。従って、計算のみにて投影倍率の変更に伴うレチクルパターン像のウエハ上への投影位置の位置ずれを補正することができ、投影倍率の変更に伴う重ね合わせ精度の劣化を防止あるいは十分に抑制することができ、しかもベースラインの再計測をしない分、スループット向上が可能になる。

なお、上記実施形態のステップ204における判断に代えて、ステップ202における倍率の変更量が、所定のしきい値より大きいかな否かを判断するようにしても良い。かかる場合であっても、上記と同等の効果を得ることができる。すなわち、本第2の実施形態で採用する計算によるベースライン量の補正という概念は、レチクルRのZ駆動量、すなわち投影倍率の制御量が小さい範囲で特に効果を発揮する。

また、上記のレチクルRのZ駆動量に対するウエハW上でのレチクル像のシフト量は、勿論投影光学系POの設計情報から既知であるが、露光装置を組み立て調整する工程において、予め実際に測定しておいても良い。

なお、光源及び複数のレンズ等から構成される照明系、投影光学系を露光装置本体に組み込み、光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージ、ウエハステージ、2次元リニアアクチュエータ34、62、及び干涉計RIFZ、70等を露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、倍率変更装置、補正装置等を構成する主制御装置等の制御系に対する各部の接続を行い、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより本実施形態の露光装置10を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

なお、上記第1、第2の実施形態で示した投影光学系や、照明光学系はほんの一例であって、本発明がこれに限定されないことは勿論である。また、上記実施形態では、本発明が反射型レチクル、オール反射光学系を備えたEUV露光装置に適用された場合について説明したが、本発明は、マスク側が非テレセントリックな投影光学系を備え、投影光学系の投影倍率の変更によりマスクパターン像の基板上での投影位置がずれる露光装置であれば、走査型、静止露光型の区別なく好適に適用できる。

また、マスクの投影光学系光軸方向の移動により、投影倍率を変更し、その変更起因するパターン像の位置ずれを補正するという本発明の技術思想は、

EUV露光装置に限らず、反射型マスク、反射光学系の組み合わせを用いる露光装置であれば、同様に好適に適用できるものである。

なお、これまでの説明では、レチクルの上下あるいは光学特性の変更装置等を用いてレチクルパターンの投影像の結像特性や投影光学系の光学特性を能動的に変更することに伴う投影像のシフト量やベースラインの変動量を求めるため、ベースライン計測をやり直すことについて説明したが、レチクル自体が露光用照明光を吸収することに起因するレチクルの熱膨張によってもベースライン量は変動するため、かかるレチクル自体の熱膨張変化量の許容値を予め設定し、露光中のレチクルの熱膨張を監視し、それが許容値に達したときに、ベースライン計測をやり直すようにしても良い。例えば、レチクルの照明光吸収と熱膨張との相対関係の関数を実験あるいはシミュレーション等によって予め求め、レチクルステージに光量モニタを設置しておいて、例えばウエハ交換中に光量を計測するとともに、そのウエハの露光中はその光量モニタの計測値を用いて照射光量を演算にて求め、その照射光量と前記の関数とを用いてレチクルの熱膨張変化量を適当な間隔で算出しながら順次更新し、ウエハの露光が終了すると、そのときの熱膨張変化量が上記許容値に達しているか否かの判断を行い、許容値に達している場合にベースライン計測をやり直すようにすれば良い。なお、この場合、レチクルマークの投影像を前述した空間像計測器FMで計測するだけでも良い。また、上記の許容値に達しているか否かの判断は、ウエハ1枚の露光終了毎でなくても所定枚数のウエハの露光終了毎に行っても良い。

この他、レチクルステージに設けられた温度センサの計測値に基づいてレチクルの温度分布を測定し、この温度分布に基づいてレチクルの熱膨張変化量を推定するようなことも可能である。この場合には、露光用照明光の照射中、照射停止中にかかわらず実測に基づいてレチクルの熱膨張変化量をある程度正確に推定することができる。

同様に、投影光学系を構成する各ミラーも照明光の吸収によって変形し、こ



れによって投影光学系のディストーション等の結像特性も変動するので、上記レチクル熱膨張と同様に、この結像特性の変化量又はミラーの変形量の許容値を予め設定し、同様にして結像特性の変化量又はミラーの変形量を監視し、この変化量が許容値に達した時点でベースライン計測及び結像特性計測を前述した空間像計測器FMを用いてやり直すようにしても良い。なお、上記レチクル熱膨張変化量、結像特性変化量は演算にて求めるが、この際、露光光照射中の変化（温度が上昇する方向）と露光光照射停止中の変化（温度が低下する方向）とを総合した変化量を求める必要があることは言うまでもなく、上記の相対関係の関数とは、このような関数を意味することは勿論である。

また、上記各実施形態において、照明光ELとして、波長13.4nmのEUV光に限らず、波長11.5nmのEUV光を用いても良い。この波長域ではモリブデンとベリリウムとを交互に積層させた多層膜が光学素子の表面に形成されることになる。なお、70nmL/Sパターン、又は50nm孤立パターンを転写するためには、波長13.4nmのEUV光では開口数が0.1～0.12程度の投影光学系が用いられ、波長11.5nmのEUV光では開口数が0.08～0.1程度の投影光学系が用いられる。

さらに、上記実施形態の光源装置12では、銅テープなどのテープターゲットを用いるものとしたが、その代わりにガスジェットターゲット、又はクライオターゲットなどを用いても良い。また、レーザプラズマ光源の代わりに、SORを用いても良い。

また、上記実施形態では、照明領域が円弧状である場合について説明したが、これに限らずEUV露光装置であっても、照明領域を矩形スリット状に規定することは可能である。但し、この場合には、投影光学系を構成するミラーの枚数を幾分増やす必要がある。

なお、上記第1及び第2実施形態において、レチクルRのパターン面に近接して可動式ブラインド42及び視野絞り（スリット板）44を配置したが、ブ

ラインド 4 2 と視野絞り 4 4 との少なくとも一方を照明光学系内でレチクル R のパターン面とほぼ共役な面に配置してもよい。

また、前述の上記各実施形態では本発明が露光用照明光として E U V 光を用いる露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、例えば紫外光を用いる露光装置であっても、投影光学系として反射光学素子のみからなる反射系、又は反射光学素子と屈折光学素子とを有する反射屈折系（カタッディオプトリック系）を採用した装置であれば、本発明を適用して同様の効果を得ることができる。例えば、波長 2 0 0 n m 程度以下の真空紫外光（V U V 光）を用いる露光装置では、投影光学系として反射屈折系を用いることが考えられる。この場合、反射光学素子（凹面鏡、ミラーなど）の一部の曲率を変更する前述した図 1 3 と同様の光学特性変更装置を倍率変更装置として用いるようにしても良い。

ここで、反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平 8 - 1 7 1 0 5 4 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 6 6 8, 6 7 2 号、並びに特開平 1 0 - 2 0 1 9 5 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 8 3 5, 2 7 5 号などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系、又は特開平 8 - 3 3 4 6 9 5 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 6 8 9, 3 7 7 号、並びに特開平 1 0 - 3 0 3 9 号公報及びこれに対応する米国特許出願第 8 7 3, 6 0 5 号（出願日：1 9 9 7 年 6 月 1 2 日）などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及びこれらに対応する米国特許、及び米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この他、米国特許第 5, 0 3 1, 9 7 6 号、第 5, 4 8 8, 2 2 9 号、及び第 5, 7 1 7, 5 1 8 号に開示される、複数の屈折光学素子と 2 枚のミラー（凹

面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡）とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通してウエハ上に達することになる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

さらに、反射屈折型の投影光学系としては、例えば円形イメージフィールドを有し、かつ物体面側、及び像面側が共にテレセントリックであるとともに、その投影倍率が  $1/4$  倍又は  $1/5$  倍となる縮小系を用いても良い。また、この反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置の場合、照明光の照射領域が投影光学系の視野内でその光軸をほぼ中心とし、かつレチクル又はウエハの走査方向とほぼ直交する方向に沿って延びる矩形スリット状に規定されるタイプであっても良い。かかる反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置によれば、例えば波長  $157\text{ nm}$  の  $F_2$  レーザ光を露光用照明光として用いても  $100\text{ nm L/S}$  パターン程度の微細パターンをウエハ上に高精度に転写することが可能である。

なお、上記実施形態では、主として光学特性変更装置を用いて光学特性の一種である倍率を調整する場合について説明したが、これはパターン像の投影領域のシフト（位置ずれ）を調整するために投影倍率を調整したものであり、物体面側がテレセントリックなである場合には、例えばレチクルの上下動によりディストーションが調整されるので、倍率はディストーションをも含む広い概念である。

また、真空紫外光として  $ArF$  エキシマレーザ光や  $F_2$  レーザ光などが用いられるが、 $DFB$  半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、

又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

例えば、単一波長レーザの発振波長を $1.51 \sim 1.59 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $189 \sim 199 \text{ nm}$ の範囲内である8倍高調波、又は発生波長が $151 \sim 159 \text{ nm}$ の範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を $1.544 \sim 1.553 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $193 \sim 194 \text{ nm}$ の範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を $1.57 \sim 1.58 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157 \sim 158 \text{ nm}$ の範囲内の10倍高調波、即ちF<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を $1.03 \sim 1.12 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $147 \sim 160 \text{ nm}$ の範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を $1.099 \sim 1.106 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157 \sim 158 \mu\text{m}$ の範囲内の7倍高調波、即ちF<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。この場合、単一波長発振レーザとしては例えばイットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いることができる。

また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV（遠紫外）光やVUV（真空紫外）光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、蛍石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。また、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエ

ハなどが用いられる。

勿論、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

#### 《デバイス製造方法》

次に、上述したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法をリソグラフィ工程で使用したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

図15には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図15に示されるように、まず、ステップ201（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ202（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ203（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ204（ウエハ処理ステップ）において、ステップ201～ステップ203で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ205（デバイス組立ステップ）において、ステップ204で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ205には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップ206（検査ステップ）において、ステップ205で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工



程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図16には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ204の詳細なフロー例が示されている。図16において、ステップ211（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ212（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ213（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ214（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ211～ステップ214それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ215（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ216（露光ステップ）において、上で説明したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ217（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ218（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ219（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップ216）において上記の露光装置10及び上で説明した露光方法が用いられるので、重ね合せ精度の向上を含む露光精度の向上により、高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

### 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係る露光装置及び露光方法は、集積回路等のマイクロデバイスを製造するリソグラフィ工程において、微細パターンをウエハ等の基板上に精度良く複数層重ねて形成するのに適している。また、本発明に係るデバイス製造方法は、微細なパターンを有するデバイスの製造に適している。

## 請 求 の 範 囲

1. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、  
前記マスクに露光用照明光を照射する照明系と；  
前記マスクから出射された前記露光用照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；  
前記投影光学系の投影倍率を変更する倍率変更装置と；  
前記基板を保持する基板ステージと；  
前記基板ステージ上に存在するマークを検出するマーク検出系と；  
前記マスクパターンの前記基板上への転写に際して、前記倍率変更装置により倍率を変更された時に、その倍率変更後に対応する前記マーク検出系のベースライン量を用いて前記マスクパターンの投影位置ずれを補正する補正装置とを備える露光装置。
2. 請求項 1 に記載の露光装置において、  
前記基板ステージ上には特定の基準マークを含む少なくとも 1 つの基準マークが形成され、  
前記特定の基準マークと前記マスクのパターン像の前記基板ステージ上への投影位置との相対位置関係を検出する位置検出系を更に備え、  
前記補正装置は、前記位置検出系を用いて前記相対位置関係を検出した結果と、前記マーク検出系を用いて前記基板ステージ上の前記特定の基準マーク及び該基準マークとの関係が既知の異なる基準マークの一方を検出した結果とに基づいて、前記倍率変更後に対応する前記ベースライン量を求める制御装置を有することを特徴とする露光装置。
3. 請求項 2 に記載の露光装置において、  
前記マーク検出系は、焦点検出系を有し、  
前記マーク検出系による前記基板ステージ上に存在するマークの検出の際に、

前記焦点検出系の検出結果に基づいて前記マーク検出系の焦点位置に前記マークが位置するように前記基板ステージの前記光軸方向の位置を調整する調整装置を更に備えることを特徴とする露光装置。

4. 請求項1に記載の露光装置において、

前記基板ステージ上には特定の基準マークを含む少なくとも1つの基準マークが形成され、

前記特定の基準マークと前記マスクのパターン像の前記基板ステージ上への投影位置との相対位置関係を検出する位置検出系を更に備え、

前記補正装置は、前記位置検出系の検出結果と、前記マーク検出系を用いて前記基板ステージ上の前記特定の基準マーク及び該基準マークとの関係が既知の異なる基準マークの一方を検出した結果とに基づいて算出された前記マーク検出系のベースライン量を予め記憶する記憶装置と、前記変更された倍率に応じて前記記憶装置に記憶された前記ベースライン量を計算によって補正する計算装置とを有することを特徴とする露光装置。

5. 請求項2又は4に記載の露光装置において、

前記露光用照明光が軟X線領域の光であり、

前記位置検出系は、前記基板ステージ上に設けられ、蛍光発生物質と、この表面に前記露光用照明光の反射層及び吸収層の一方から成る薄膜により形成された前記特定の基準マークを兼ねる開口と、前記開口を介して前記露光用照明光が前記蛍光物質に到達した際に前記蛍光発生物質が発する光を光電変換する光電変換素子とを有する空間像計測器であることを特徴とする露光装置。

6. 請求項1に記載の露光装置において、

前記倍率変更装置は、前記マスクを前記投影光学系の光軸方向に駆動する装置であることを特徴とする露光装置。

7. 請求項1に記載の露光装置において、

前記投影光学系は、反射光学素子を含む光学系であり、

前記倍率変更装置は、前記投影光学系の光学特性を変更する光学特性変更装置であることを特徴とする露光装置。

8. 請求項7に記載の露光装置において、

前記光学特性変更装置は、前記反射光学素子の曲率を変更することを特徴とする露光装置。

9. 請求項1に記載の露光装置において、

前記投影光学系は、反射光学素子を含む光学系であり、

前記マスクを保持するマスクステージと、該マスクステージと前記基板ステージとを前記投影光学系の光軸方向に直交する第1方向に同期移動する駆動装置とを更に備え、

前記倍率変更装置は、前記マスクステージを介して前記マスクを前記投影光学系の光軸方向に駆動して前記投影光学系の光軸方向及び前記第1方向に直交する第2方向の倍率を変更する装置であることを特徴とする露光装置。

10. 請求項9に記載の露光装置において、

前記露光用照明光は真空紫外域の光であることを特徴とする露光装置。

11. 請求項9に記載の露光装置において、

前記投影光学系は、反射光学素子のみから成る反射光学系であり、前記マスクは反射型マスクであることを特徴とする露光装置。

12. 請求項11に記載の露光装置において、

前記露光用照明光は軟X線領域の光であることを特徴とする露光装置。

13. 請求項2又は4に記載の露光装置において、

前記基板ステージ上の基板の前記投影光学系の光軸方向の位置を検出する焦点位置検出系と；

前記倍率変更装置による前記マスクの前記光軸方向の駆動量に対応したオフセットを前記焦点検出系に与え、該焦点位置検出系の検出結果に基づいて前記基板ステージの光軸方向の位置をフィードバック制御するステージ制御装置と



を更に備えることを特徴とする露光装置。

14. 請求項1に記載の露光装置において、

前記マスクのパターンの前記基板に対する転写に先立って、前記マーク検出系を用いて前記基板上の複数の位置合わせマークを検出する検出装置を更に備え、

前記倍率変更装置による倍率の変更は、前記検出装置による複数の位置合わせマークの位置検出結果に基づいて行われることを特徴とする露光装置。

15. 請求項1、2、4、6、7、9のいずれか一項に記載の露光装置において、

前記投影光学系は、前記マスク側が非テレセントリックであることを特徴とする露光装置。

16. マスクのパターンを基板上に繰り返し転写する露光装置であって、  
前記マスクに露光用照明光を照射する照明系と；

前記マスクから出射された前記露光用照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；

前記基板を保持する基板ステージと；

前記基板ステージ上に存在するマークを検出するマーク検出系と；

前記マーク検出系のベースライン量の更新の必要の有無を所定の判定条件に基づいて判断する判断装置と；

前記判断装置の判断の結果が肯定的である場合には新たなベースライン量を求めるベースライン更新装置と；

前記判断装置の判断結果が否定的である場合には、前記マスクパターンの前記基板への転写に際して予め求めた前記マーク検出系のベースライン量を用いて前記基板ステージの位置を制御し、前記判断装置の判断結果が肯定的である場合には、前記マスクパターンの前記基板への転写に際して前記新たなベースライン量を用いて前記基板ステージの位置を制御するステージ制御装置とを備

える露光装置。

17. 請求項16に記載の露光装置において、

前記判断装置は、マスクパターンの転写の対象である前記基板がロットの先頭であるか否かに基づいて前記マーク検出系のベースライン量の更新の必要の有無を判断することを特徴とする露光装置。

18. マスクと基板とを同期移動させつつ前記マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して前記基板上に転写する露光方法において、

前記マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光を照射して前記露光用照明光により照明されたマスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するに際し、前記投影光学系の前記同期移動方向と直交する方向の投影倍率を所望の値に設定するとともに、この設定後に対応する前記基板上の位置合わせマークを検出するマーク検出系のベースライン量を用いて前記基板の位置を制御することを特徴とする露光方法。

19. 請求項18に記載の露光方法において、

前記投影倍率の設定後に対応する前記ベースライン量は、前記投影倍率の設定後に検出されるものであることを特徴とする露光方法。

20. 請求項18に記載の露光方法において、

前記投影倍率の設定後に対応する前記ベースライン量は、その設定された投影倍率に応じて、予め求められたベースライン量を計算により補正したものであることを特徴とする露光方法。

21. 請求項18～20のいずれか一項に記載の露光方法において、

前記マスクは反射型マスクであり、前記投影光学系は反射光学系であることを特徴とする露光方法。

22. マスクと基板とを同期移動して、前記マスクのパターンを投影光学系を介して前記基板上に転写する露光方法において、

前記転写に先立って前記投影光学系の光学特性を調整し、前記光学特性の調

整に起因して生じる、前記投影光学系のイメージフィールド内での、パターン像の投影領域のシフトを補償するように、前記同期移動中における前記投影領域と前記基板との位置関係を調整することを特徴とする露光方法。

23. 請求項22に記載の露光方法において、

前記基板上のマークをマーク検出系で検出して得られる位置情報を用いて前記基板の露光位置を決定し、前記投影領域と前記基板との相対位置を調整するために、前記光学特性の調整後における前記マーク検出系のベースライン量と前記決定された露光位置情報とに従って、前記マスクに対する前記基板の同期移動を制御することを特徴とする露光方法。

24. 請求項22に記載の露光方法において、

前記同期移動では、前記光学特性の調整後に計測される前記マーク検出系のベースライン量及び前記調整された光学特性から計算される前記マーク検出系のベースライン量的一方を利用することを特徴とする露光方法。

25. 請求項22～24のいずれか一項に記載の露光方法において、

前記基板上の複数のマークを前記マーク検出系で検出して得られる複数の位置情報と、前記投影光学系を介して前記マスク上の複数のマークを検出して得られる複数の位置情報との少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の光軸に沿った方向に前記マスクを移動し、前記基板の同期移動方向と直交する方向に関する前記パターン像の投影倍率を調整することを特徴とする露光方法。

26. 請求項22～24のいずれか一項に記載の露光方法において、

前記マスクは、主光線がそのパターン面に対して傾いた露光用照明光で照射される反射型マスクであり、前記露光用照明光は、波長5～15nmにスペクトルを有する極端紫外光であり、前記投影光学系は、前記マスク側が非テレセントリックで、かつ複数の反射光学素子のみから構成されていることを特徴とする露光方法。

27. マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に繰り返し転写する露

光方法であって、

前記基板上のマークを検出するマーク検出系のベースライン量の変動要因となる物理量の変化を監視する第1工程と；

前記物理量が所定の許容値を超えたか否かに基づいて前記マーク検出系のベースライン量の更新の必要の有無を判断する第2工程と；

前記判断結果が肯定的である場合には新たなベースライン量を求め、その求めたベースライン量を用いて前記基板の位置を制御し、前記判断結果が否定的である場合には、予め求めた前記マーク検出系のベースライン量を用いて前記基板の位置を制御して、露光を行う第3工程とを含む露光方法。

28. 請求項27に記載の露光方法において、

前記第1工程において監視される物理量は、前記マスクの熱膨張変化量であることを特徴とする露光方法。

29. 請求項28に記載の露光方法において、

前記マスクの熱膨張変化量は、前記マスクの温度分布の計測結果に基づいて推定されるものであることを特徴とする露光方法。

30. 請求項27に記載の露光方法において、

前記第1工程において監視される物理量は、前記投影光学系の結像特性であることを特徴とする露光方法。

31. 請求項27に記載の露光方法において、

前記投影光学系はミラーを含む光学系であり、

前記第1工程において監視される物理量は、前記ミラーの変形量であることを特徴とする露光方法。

32. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

前記マスクに露光用照明光を照射する照明系を提供する工程と；

前記マスクから出射された前記露光用照明光を前記基板上に投射する投影光学系を提供する工程と；

前記投影光学系の投影倍率を変更する倍率変更装置を提供する工程と；

前記基板を保持する基板ステージを提供する工程と；

前記基板ステージ上に存在するマークを検出するマーク検出系を提供する工程と；

前記マスクパターンの前記基板上への転写に際して、前記倍率変更装置により倍率に変更された時に、その倍率変更後に対応する前記マーク検出系のベースライン量を用いて前記マスクパターンの投影位置ずれを補正する補正装置を提供する工程とを含む露光装置の製造方法。

33. 請求項32に記載の露光装置の製造方法において、

前記マスクを保持するマスクステージを提供する工程と；

前記マスクステージと前記基板ステージとを前記投影光学系の光軸方向に直交する第1方向に同期移動する駆動装置を提供する工程とを更に含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

34. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法において、

前記リソグラフィ工程では、請求項1又は16に記載の露光装置を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

35. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法において、

前記リソグラフィ工程では、請求項18、22、27のいずれか一項に記載の露光方法を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

36. 請求項18、22、27のいずれか一項に記載の露光方法を用いて製造されるデバイス。



Fig. 1

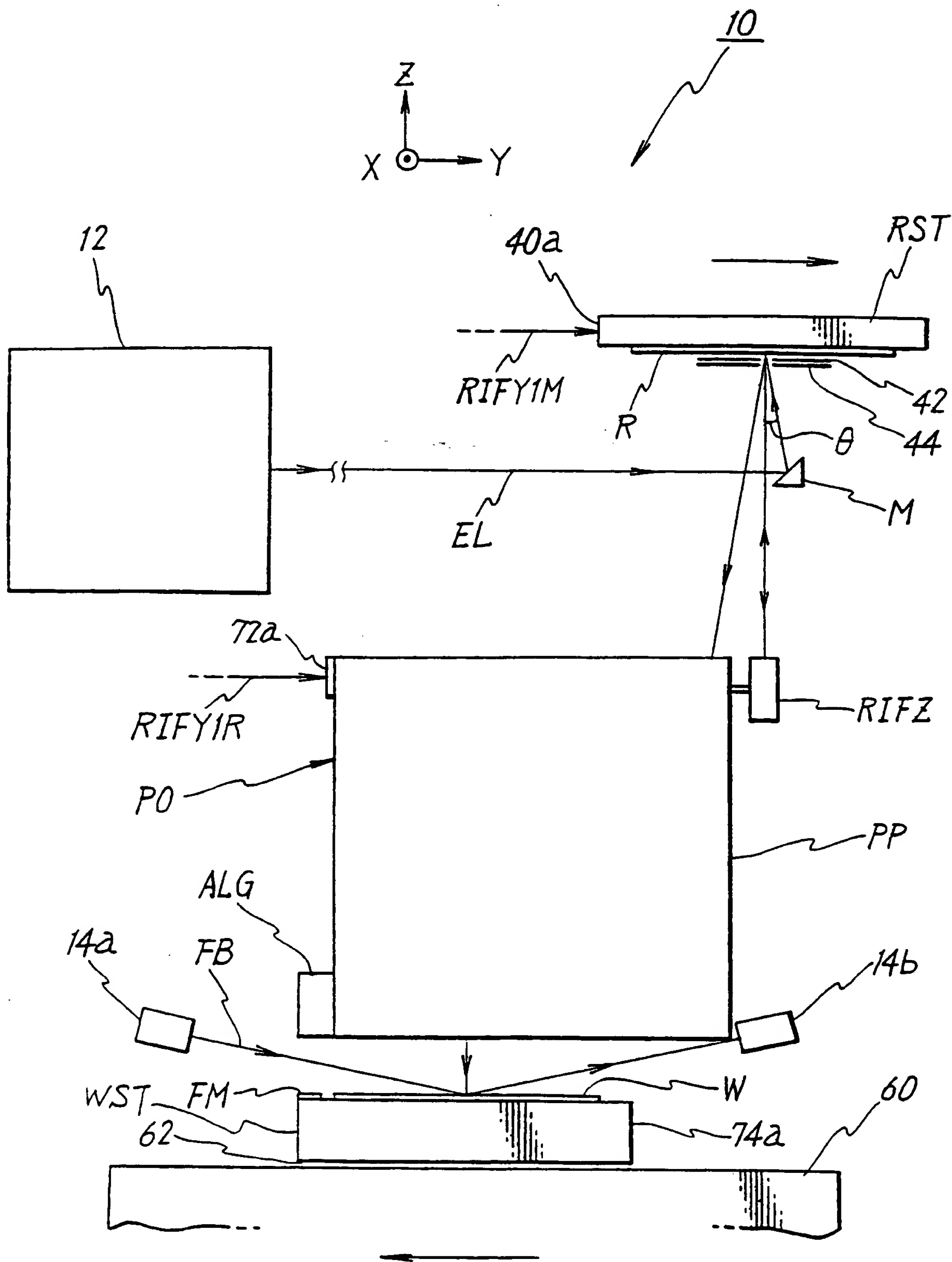


Fig. 2

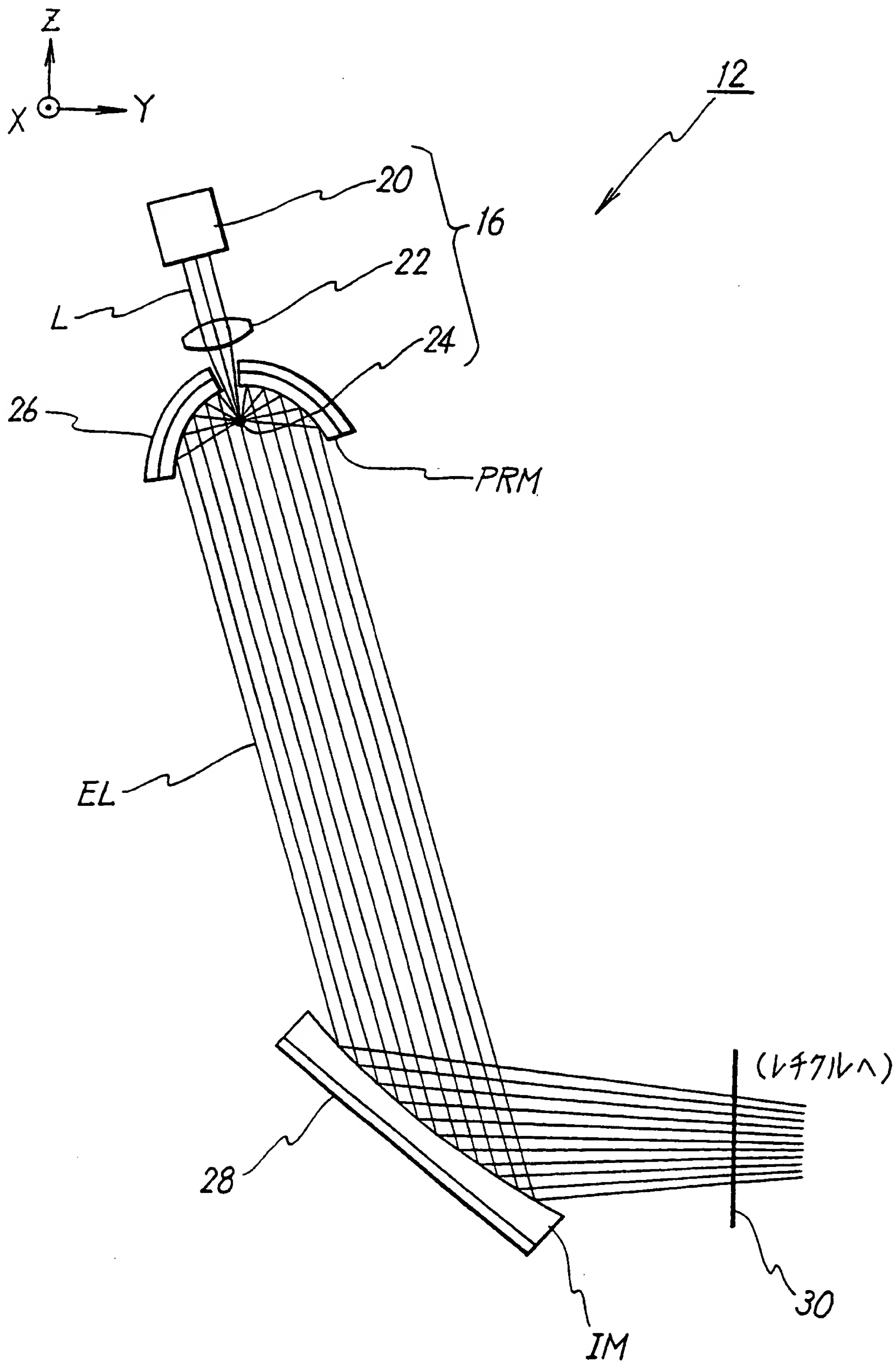


Fig. 3

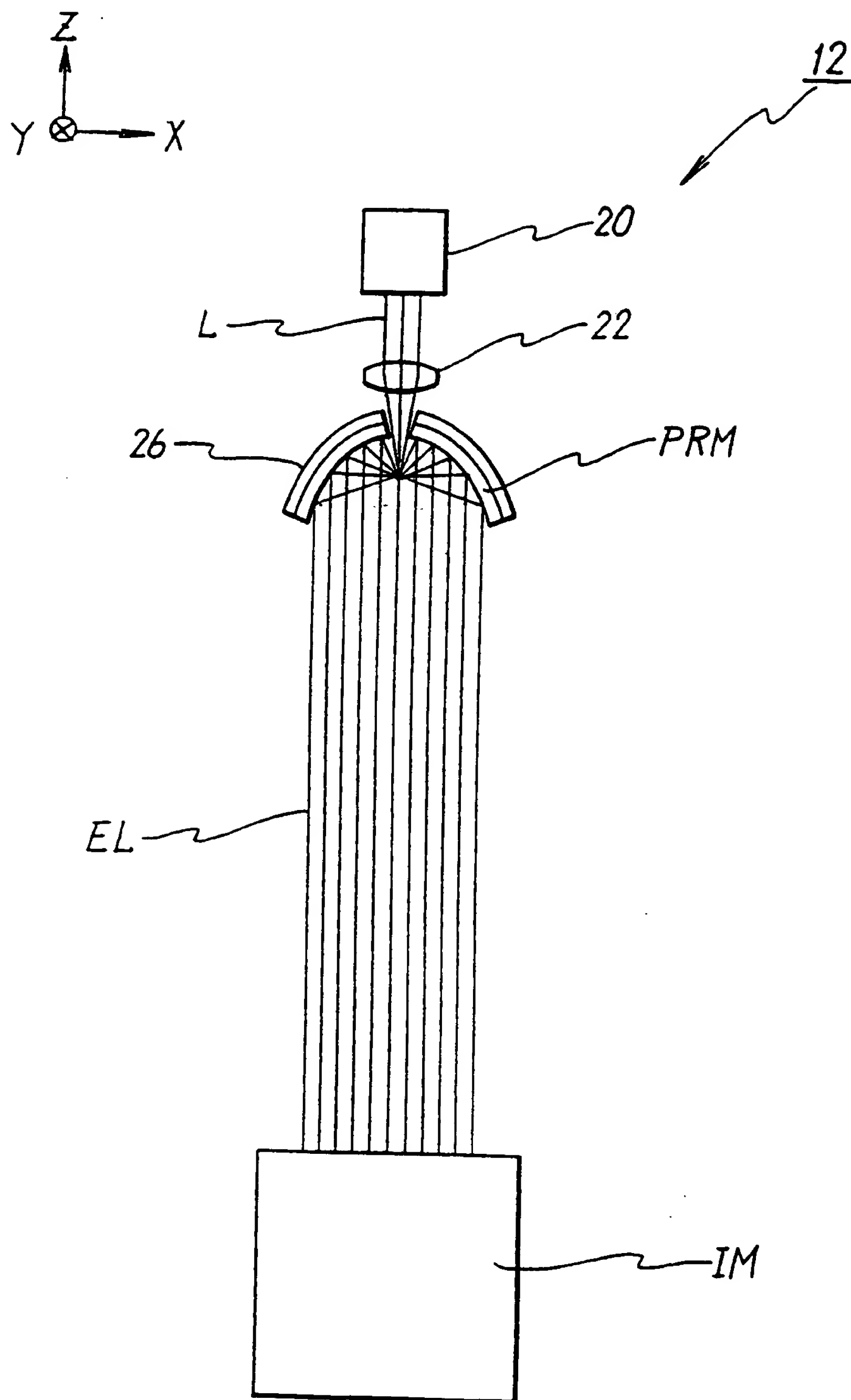


Fig. 4

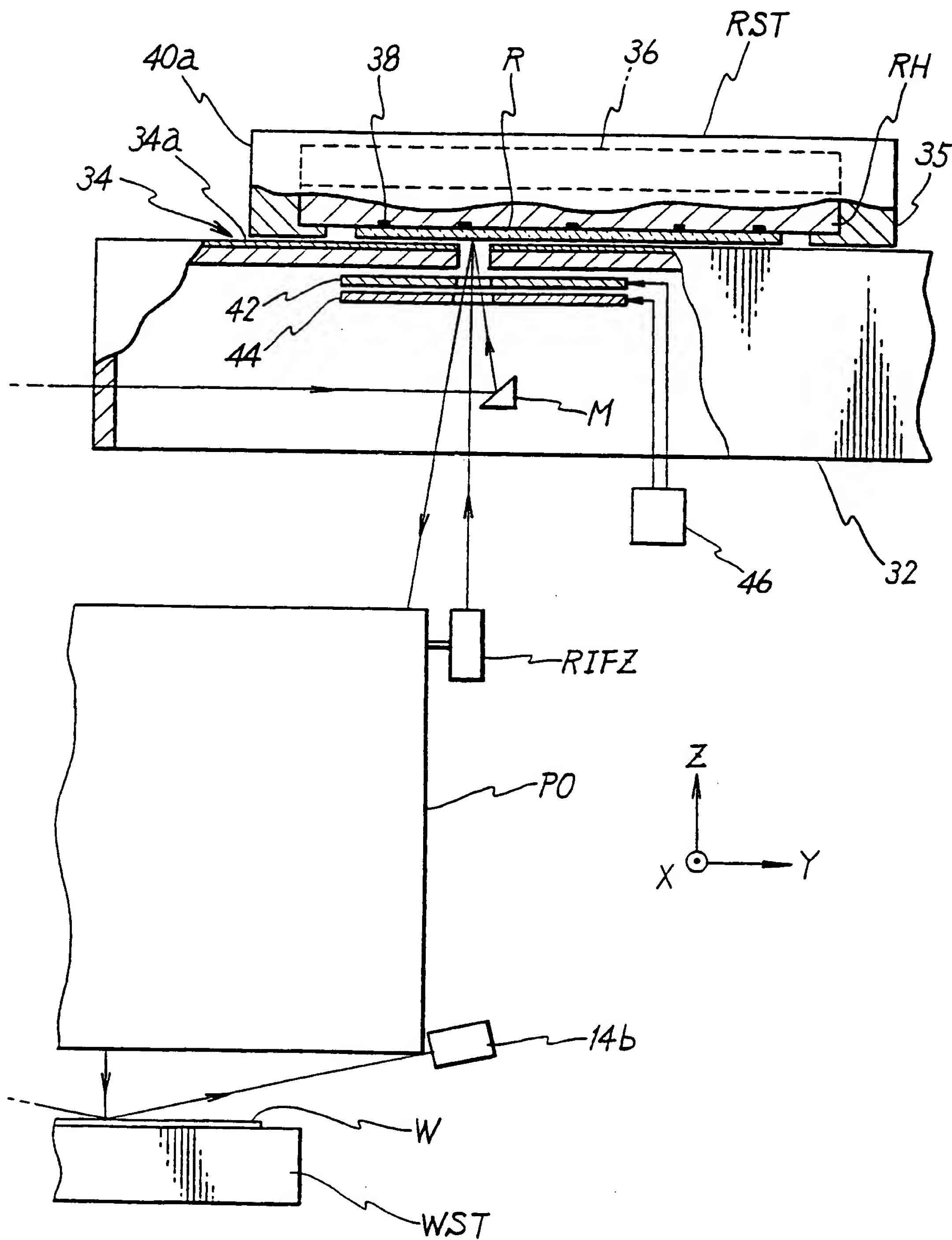


Fig. 5

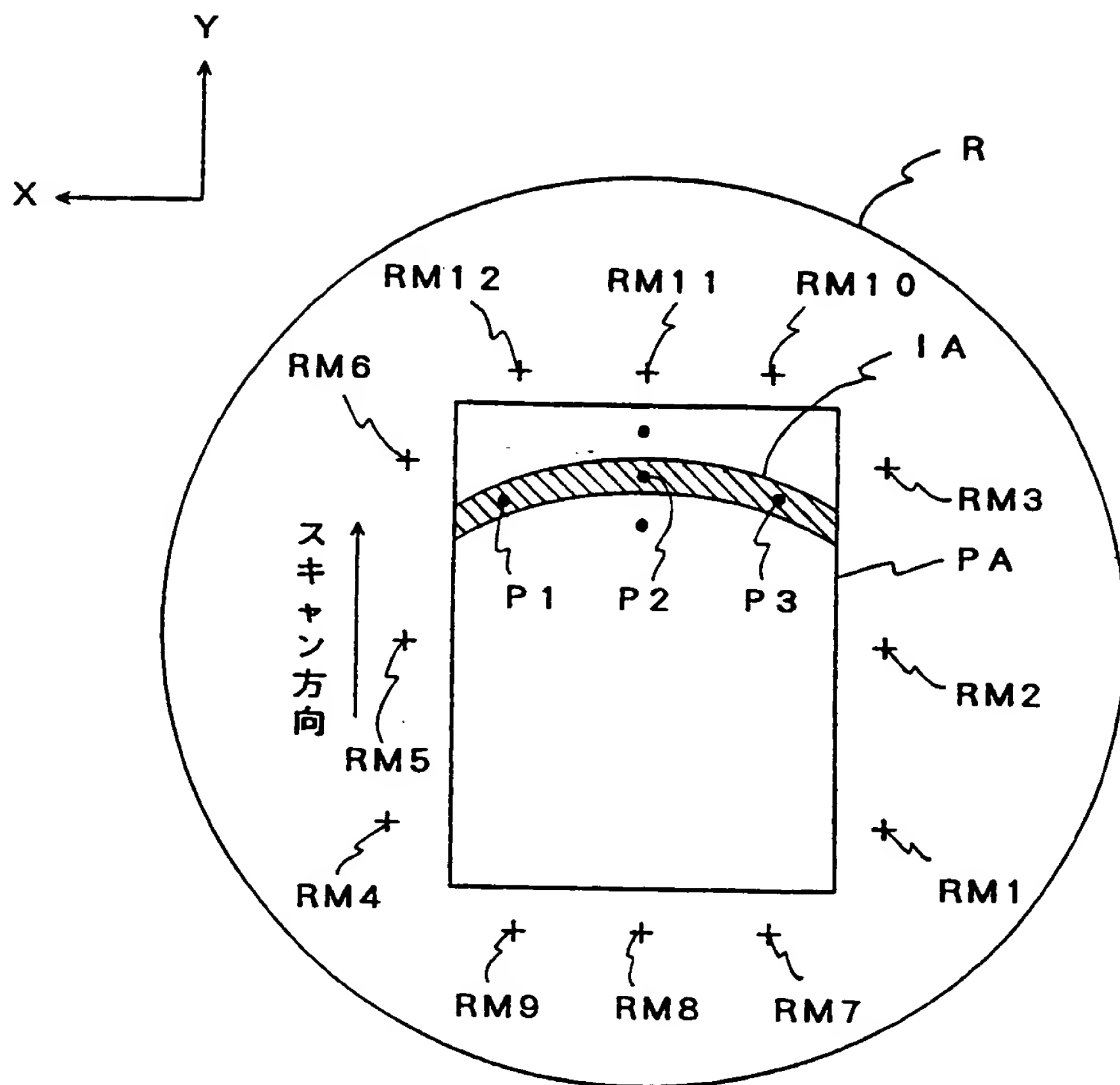




Fig. 6

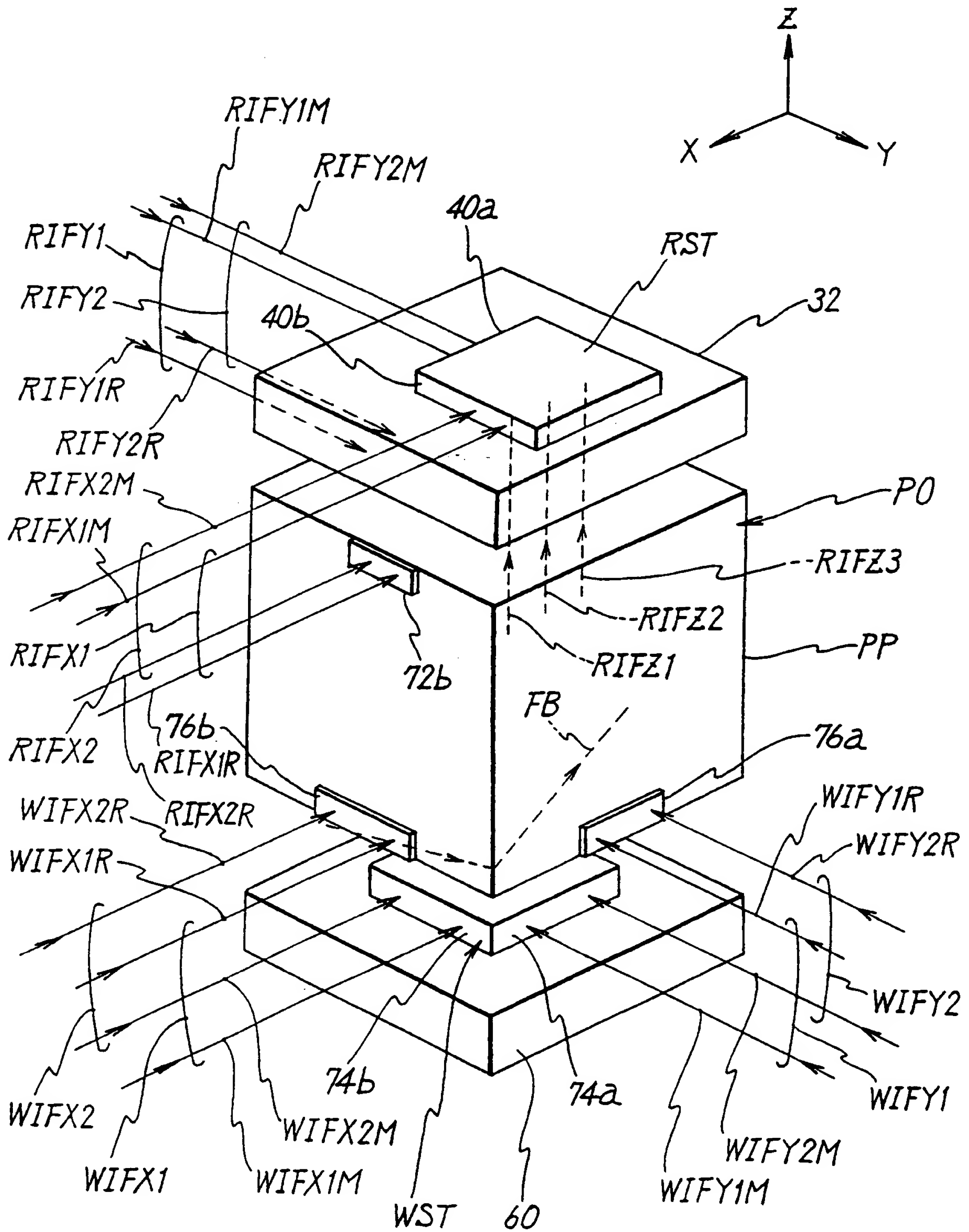


Fig. 7

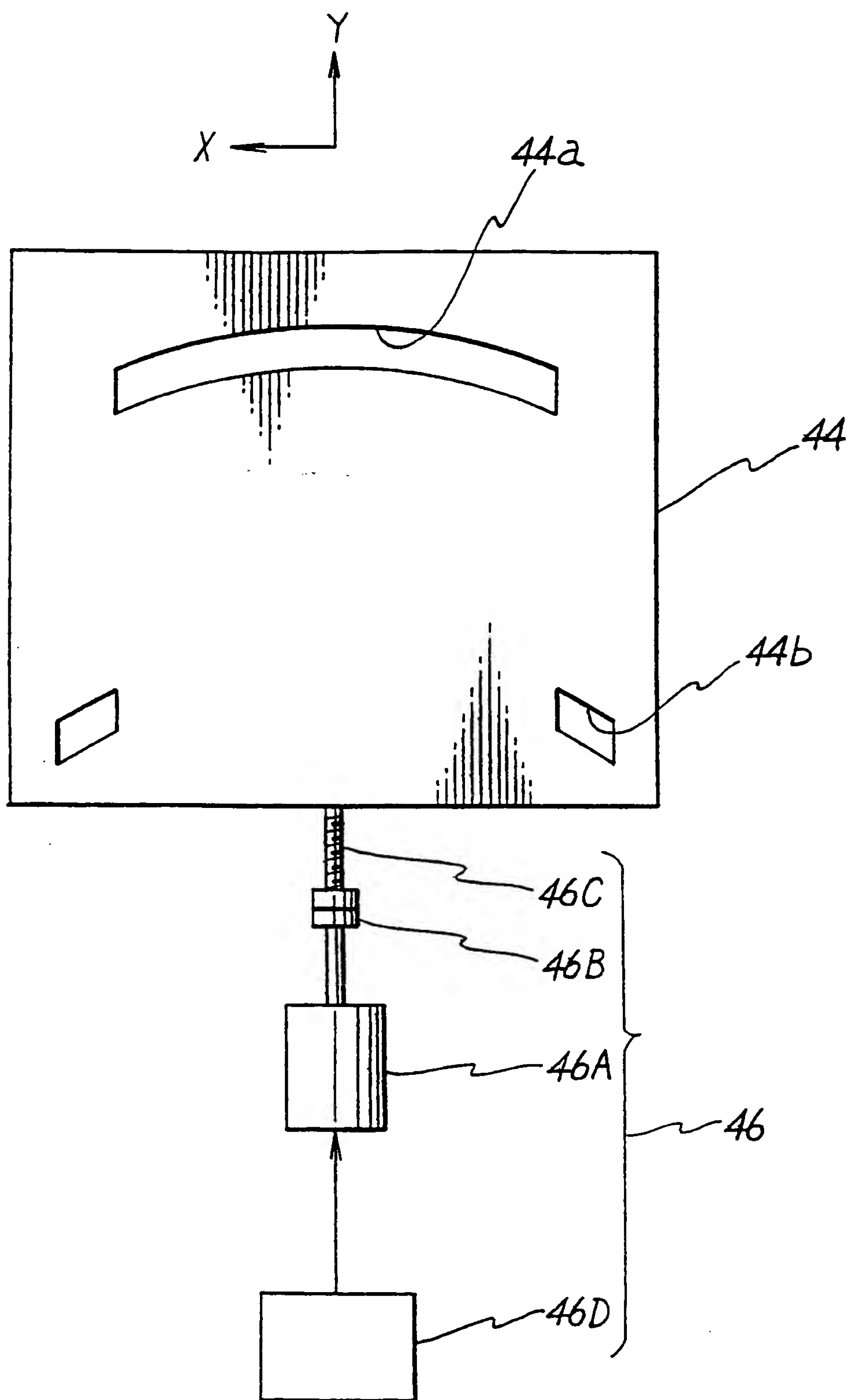


Fig. 8

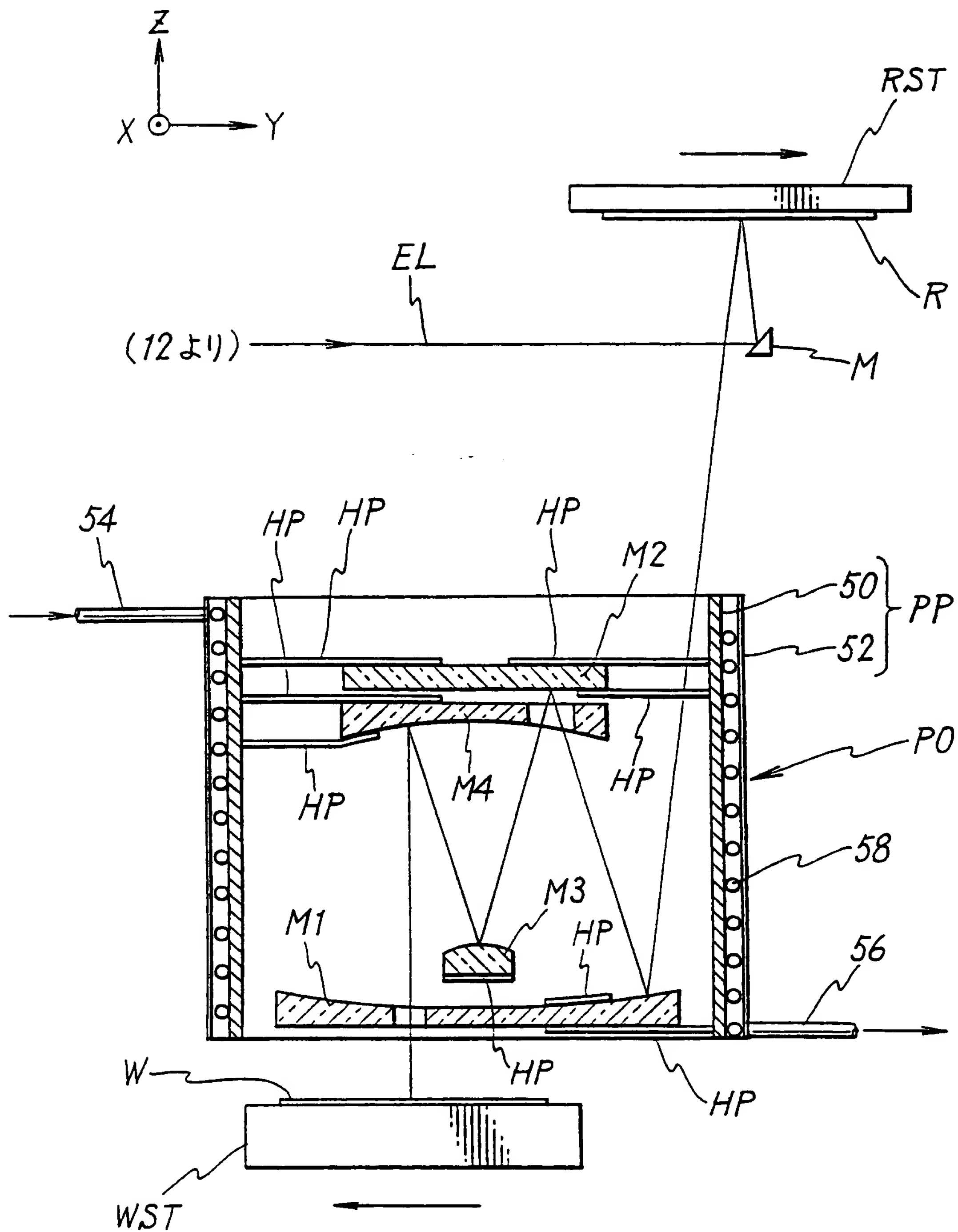


Fig. 9A

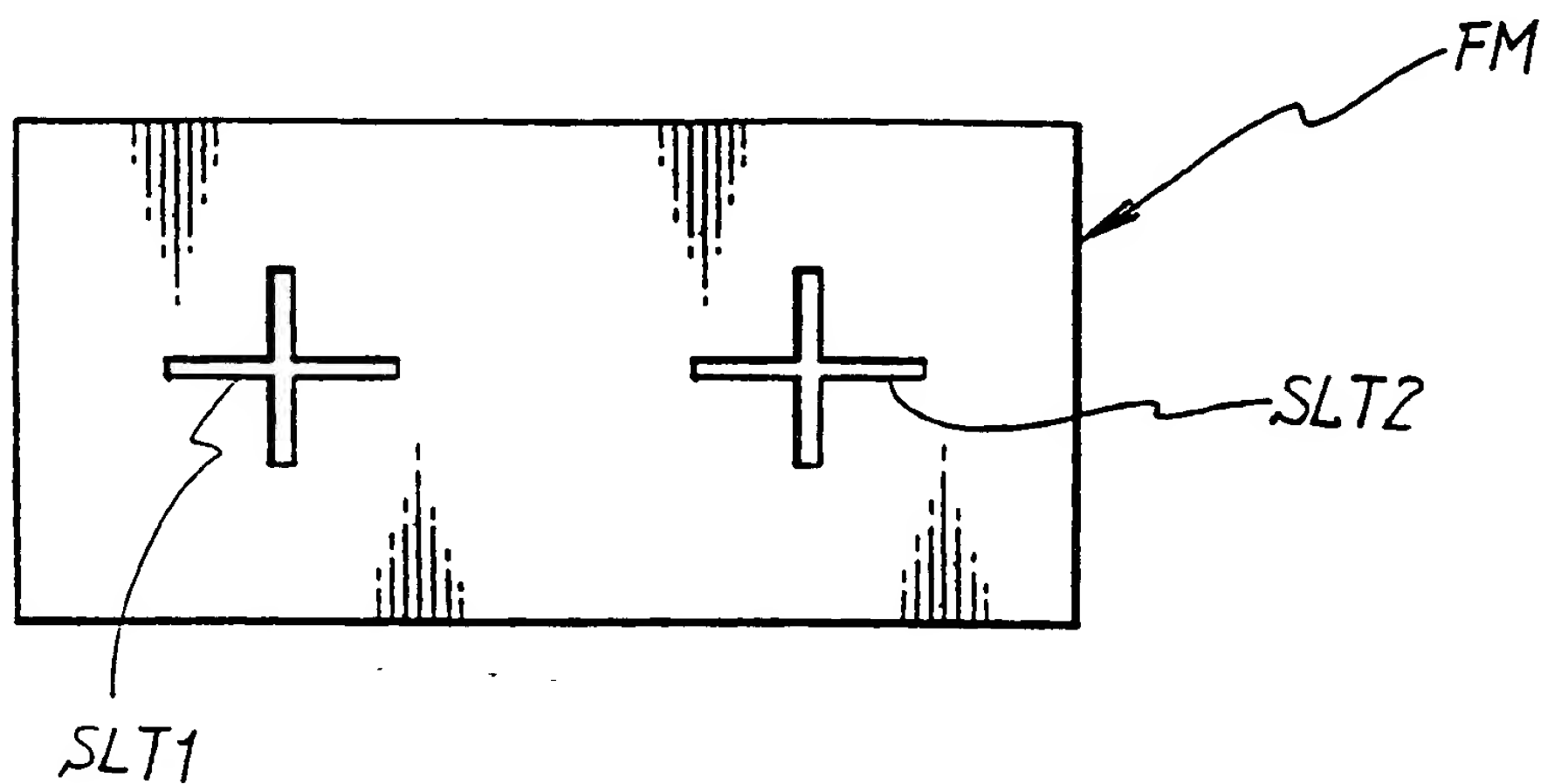


Fig. 9B

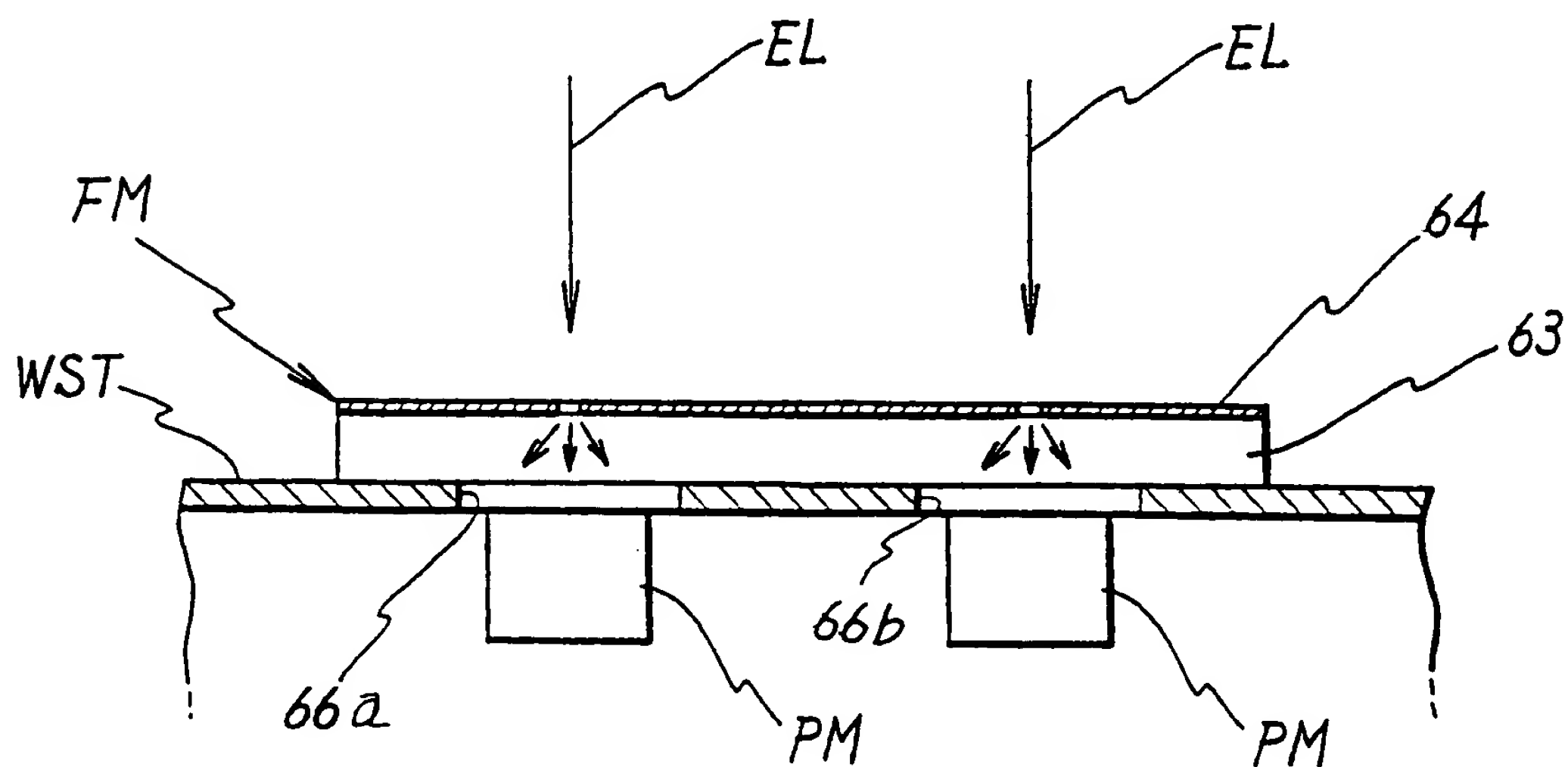


Fig. 10

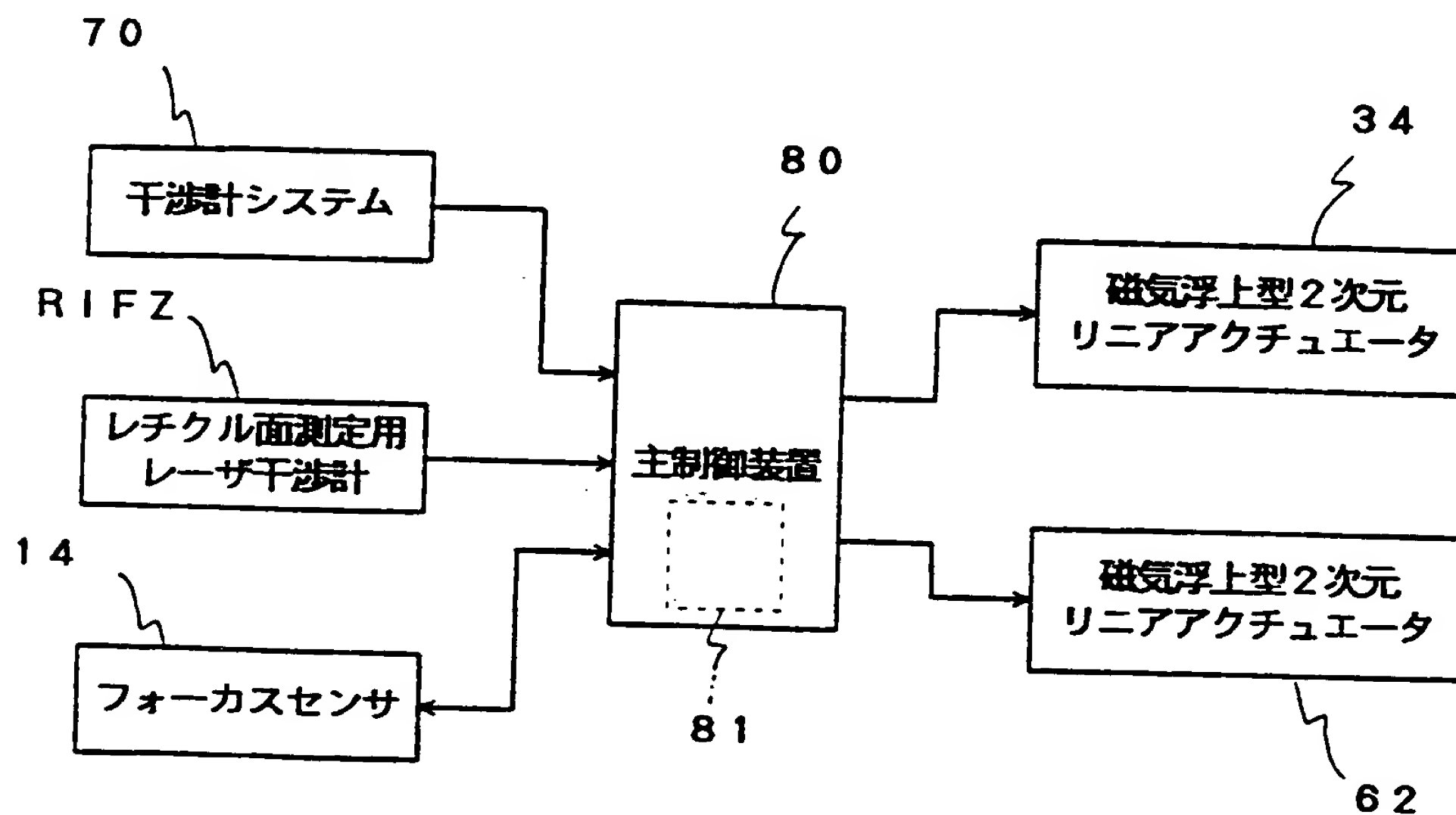




Fig. 11

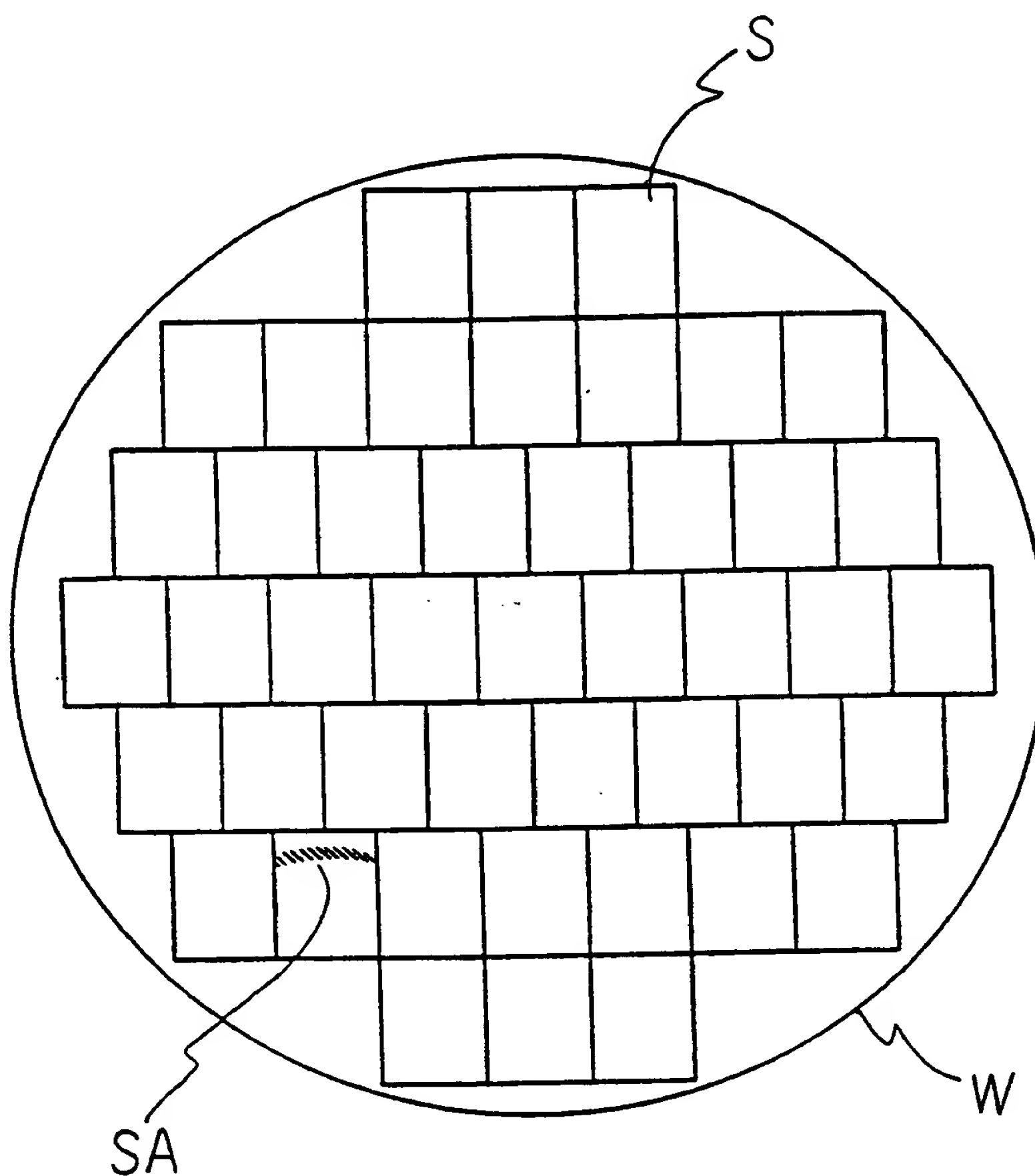


Fig. 12

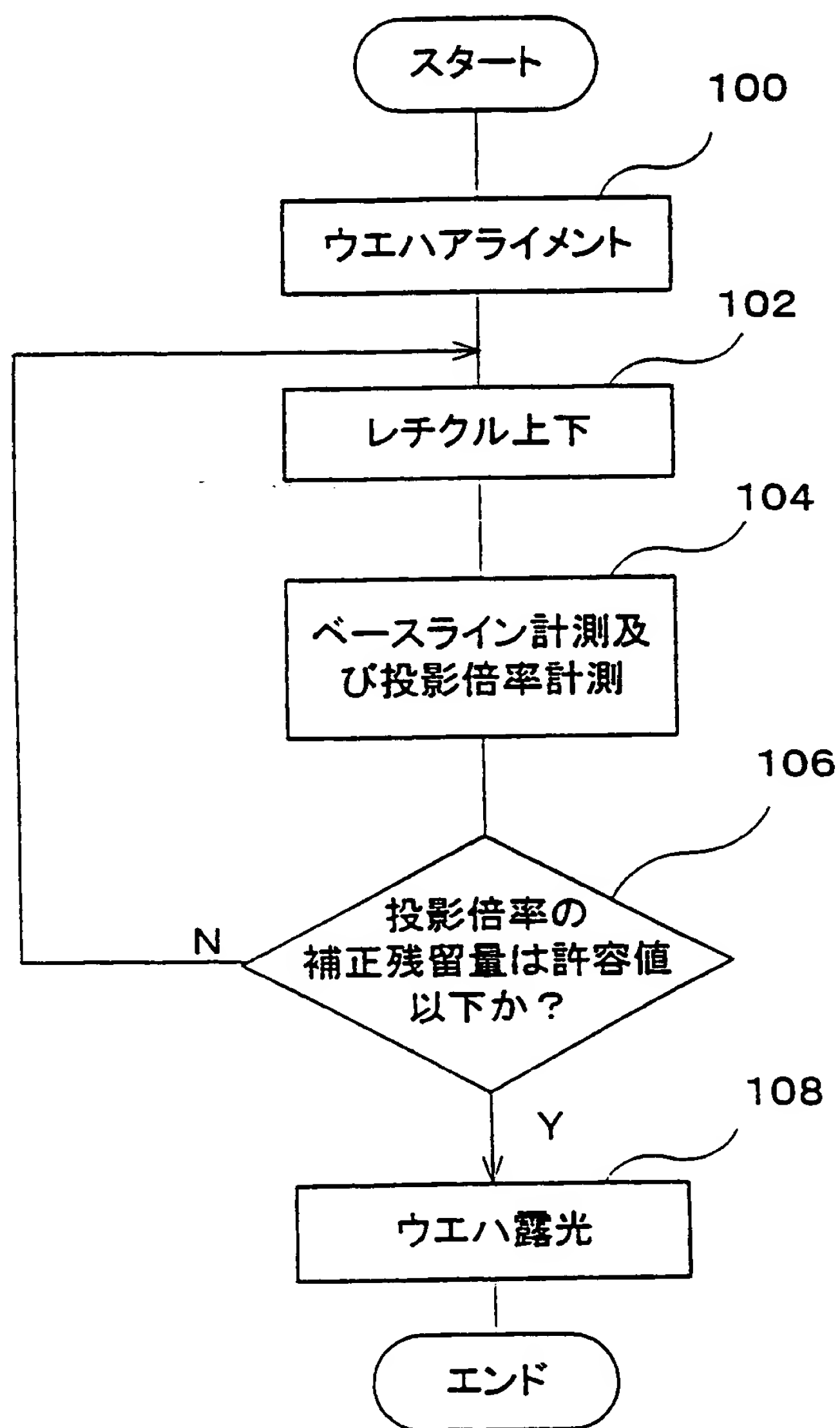


Fig. 13

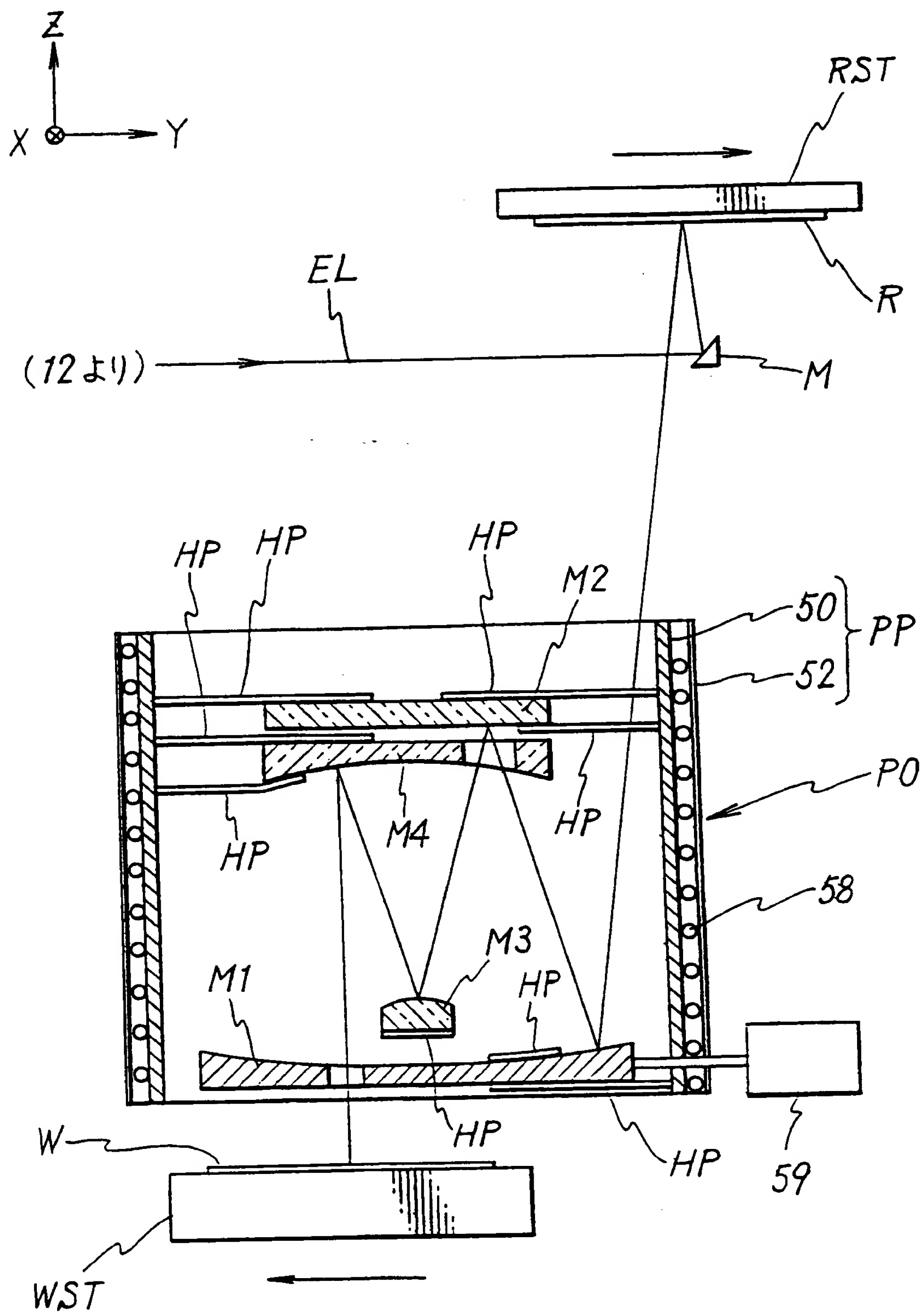


Fig. 14

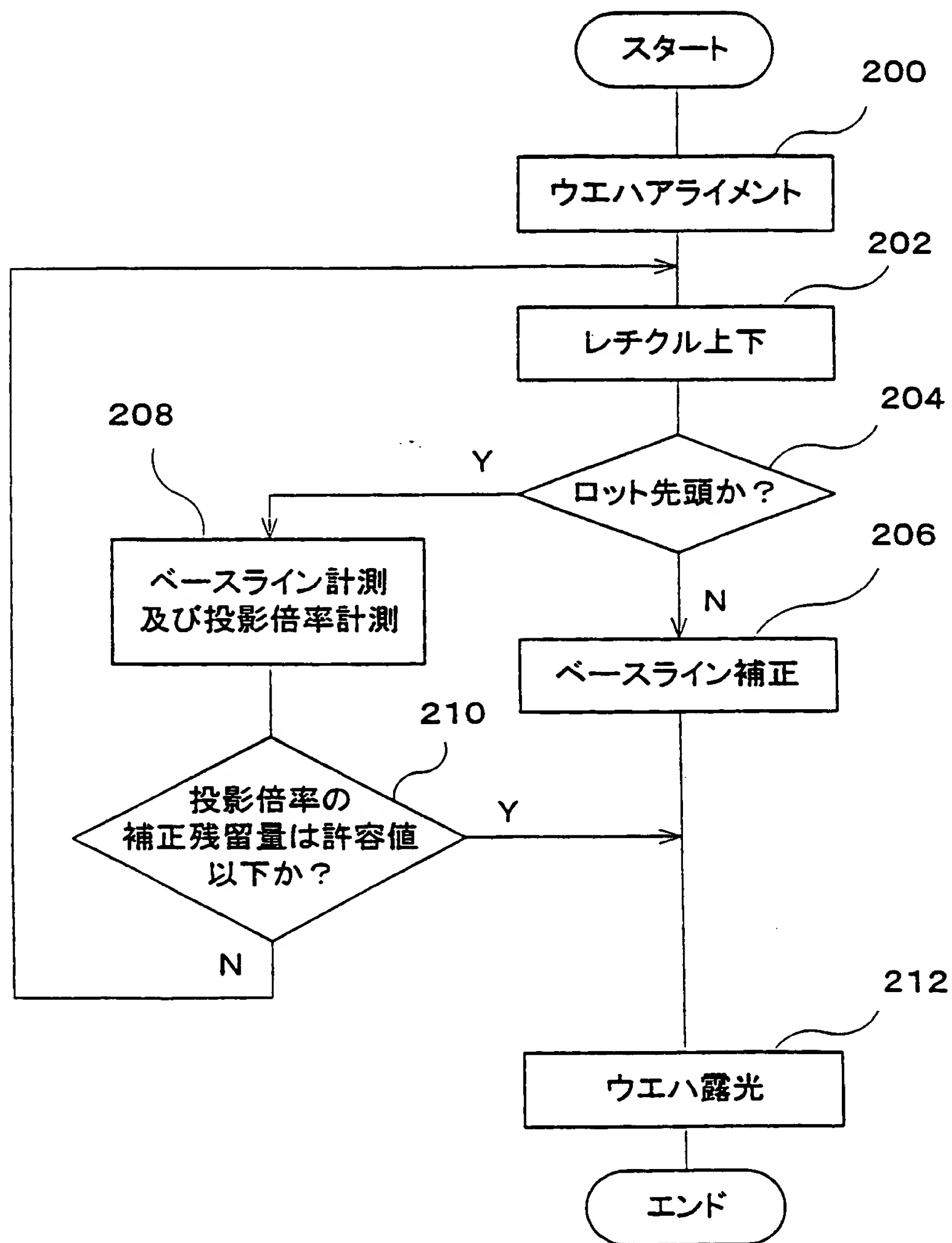


Fig. 15

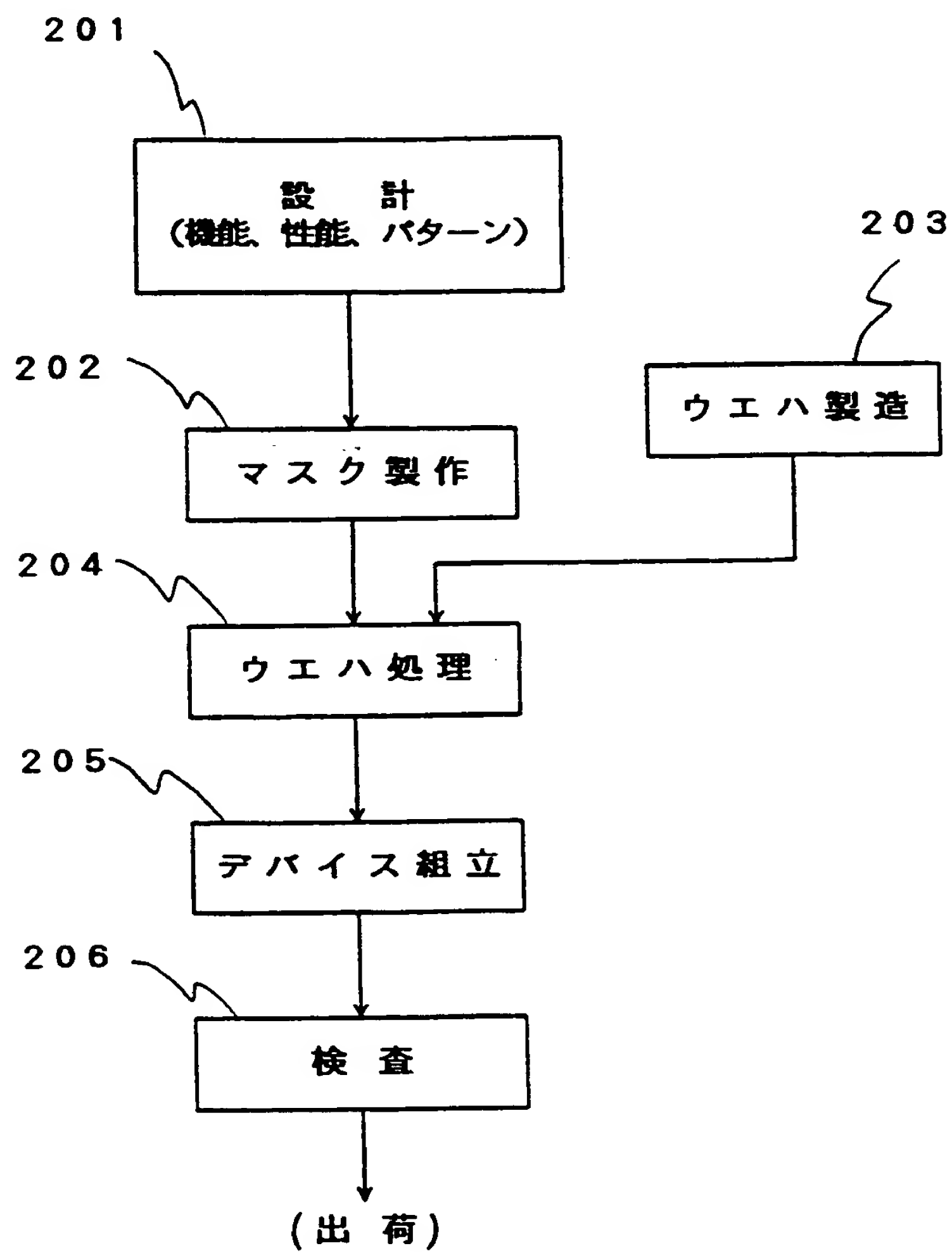
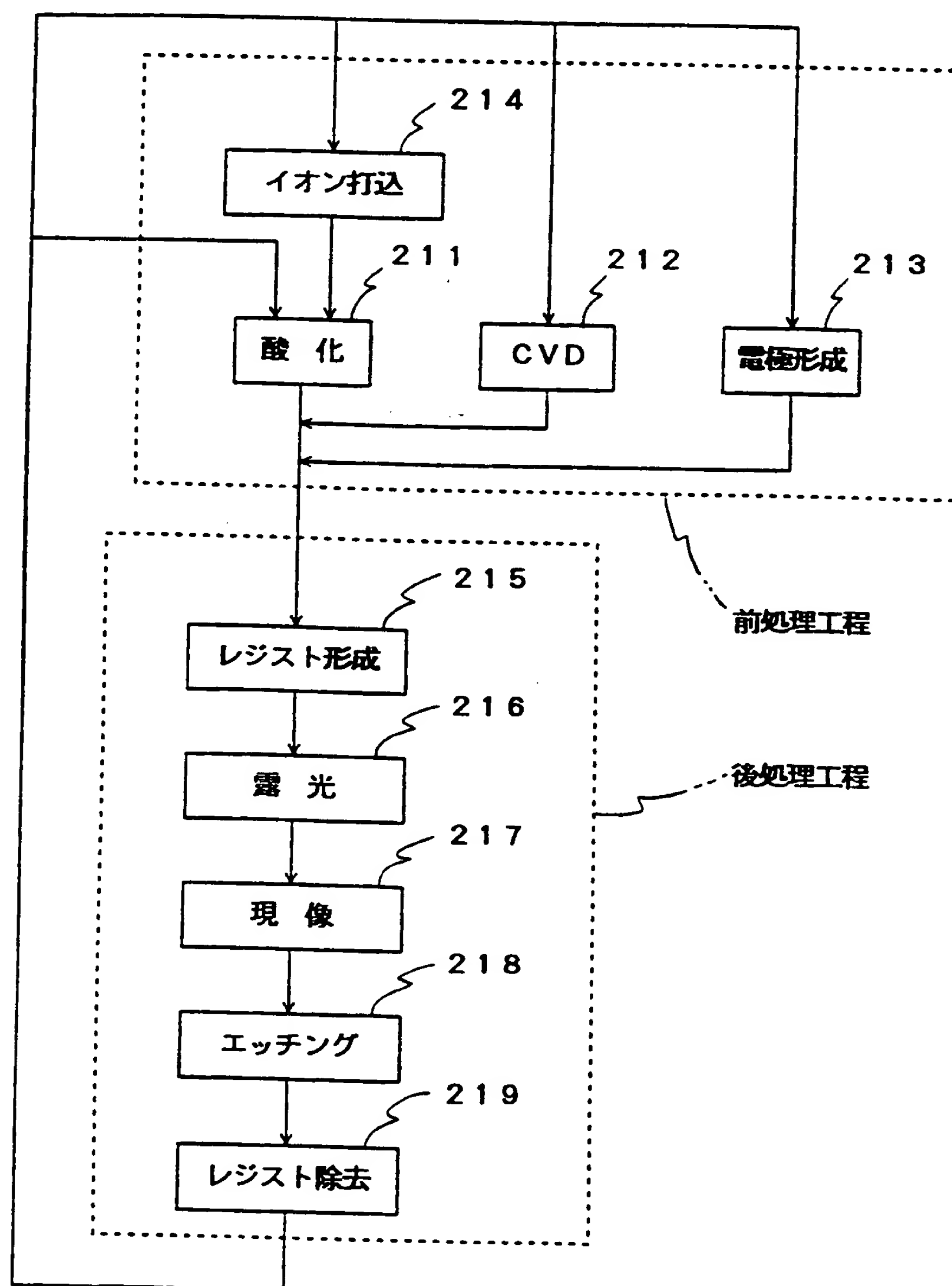




Fig. 16





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/00988

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>6</sup> H01L21/027, G03F9/00, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>6</sup> H01L21/027, G03F9/00, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-1999	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP, 6-349706, A (Nikon Corp.), 22 December, 1994 (22. 12. 94) (Family: none)	1-2, 4, 7, 9-14 3, 5-6, 8, 15-36
X Y	JP, 9-199398, A (Canon Inc.), 31 July, 1997 (31. 07. 97) (Family: none)	18-20, 22-24 21, 25-26
Y	JP, 2-72362, A (Hitachi, Ltd.), 12 March, 1990 (12. 03. 90) & US, 5008702, A	3, 6, 15-20, 25

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
7 May, 1999 (07. 05. 99)

Date of mailing of the international search report  
18 May, 1999 (18. 05. 99)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)